

Statlig program for forurensningsovervåking

Overvåking av langtransporterte forurensninger 2000 Sammendragsrapport

Rapporten baserer seg på resultater fra de tre statlige overvåkingsprogrammene:

Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør
Overvåkingsprogram for skogskader (OPS)
Program for terrestrisk naturovervåking (TOV)

Forord

Denne rapporten presenterer sammendrag av resultatene for 2000 fra tre overvåkingsprogrammer: “Overvåking av langtransportert forurensset luft og nedbør”, “Overvåkingsprogram for skogskader” (OPS) og “Program for terrestrisk naturovervåking” (TOV). Disse tre programmene organiserer omfattende måleprogrammer på luft, vann, jord, skog og annen vegetasjon og akvatisk og terrestrisk fauna. Resultatene rapporteres i forskjellige hovedrapporter og delrapporter og det kan derfor være vanskelig å få den totale oversikten over hovedresultatene fra overvåkingsprogrammene og hvordan de kompletterer og utfyller hverandre. Vi presenterer her en kortfattet og samlet oversikt over de viktigste resultatene fra de tre overvåkingsprogrammene. For en grundig dokumentasjon om gjennomføring og resultater henviser vi til rapportene som denne sammendragsrapporten baserer seg på.

Hovedansvarlige for utarbeidelse av årsrapporten har vært:

“Overvåking av langtransportert forurensset luft og nedbør”, OPS, TOV

Atmosfærisk tilførsel: Wenche Aas, Kjetil Tørseth, Stein Manø, Torunn Berg og Sverre Solberg (NILU)

“Overvåking av langtransportert forurensset luft og nedbør”

Vannkjemi: Brit Lisa Skjelkvåle, Torjörn Larssen og Tor Traaen (NIVA)

Bunndyr: Arne Fjellheim og Gunnar G. Raddum (LFI, UiB)

Krepsdyr: Ann Kristin Schartau, Bjørn Walseng, Terje Nøst og Gunnar Halvorsen. (NINA)

Fisk: Randi Saksgård og Trygve Hesthagen (NINA)

Jord: Ingvald Røsberg (Skogforsk), Arne Stuanes og Gunnar Abrahamsen (NLH)

OPS Samlet redigering: Dan Aamlid (Skogforsk)

Landsrepresentative flater: Gro Hysten (NIJOS)

Intensive og fylkesvise flater: Svein Solberg, Nicholas Clarke, Ingvald Røsberg og Dan Aamlid (Skogforsk)

TOV Samlet redigering: Erik Framstad (NINA)

Markvegetasjon: Rune Halvorsen Økland (NIJOS/Botanisk hage og museum, UiO) (vegetasjon i Solhomfjell), Vegar Bakkestuen og Odd Egil Stabbetorp (NINA) (vegetasjon i bjørkeskog)

Epifyttisk vegetasjon: Inga Elise Bruteig (NINA)

Fauna: John Atle Kålås og Torgeir Nygård (NINA)

Jord: Ingvald Røsberg og Dan Aamlid (Skogforsk)

Redaktør for rapporten har vært Brit Lisa Skjelkvåle, NIVA.

SFT Oslo, 15. juni 2001

Ola Glesne
seksjonssjef

Tor Johannessen
senioringeniør

Innhold

Status for effekter av langtransporterte forurensninger i 2000	4
Acidification status in Norway 2000	8
1. Innledning	11
1.1 Presentasjon av programmene	11
1.2 Overvåkingsprogrammene i internasjonalt perspektiv	12
1.3 Sammendragsrapporten er basert på følgende hovedrapporter:	14
2. Luft og nedbør	15
2.1 Utslipp	15
2.2 Nedbørkjemi - våtavsetninger	16
2.3 Luftens innhold av forurensninger - tørravsetninger	20
2.4 Totalavsetning fra luft og nedbør	21
2.5 Bakkenært ozon	22
2.6 Sporelementer og organiske forbindelser	24
3. Det akvatiske miljøet	27
3.1 Effekter på vannkjemi	31
3.2 Effekter på bunndyr	38
3.3 Effekter på krepsdyr	44
3.4 Effekter på fisk	48
4. Det terrestriske miljøet	54
4.1 Effekter på jord	58
4.2 Effekter på skog	61
4.3 Effekter på markvegetasjon	64
4.4 Effekter på epifyttisk vegetasjon	66
4.5 Effekter på fauna	69

Status for effekter av langtransporterte forurensninger i 2000

Reduserte utslipp av svovel i Europa har medført at konsentrasjonene av sulfat i nedbør i Norge har avtatt med 54-72 % fra 1980 til 2000. Dette har resultert i nedgang av sulfat i vann og vassdrag med 30-60% i samme periode. Følgen av dette er bedret vannkvalitet med økning i pH og ANC og nedgang i uorganisk (giftig) aluminium. Nedgangen i sulfat er nå også målbar i jord. Videre ser vi en bedring i det akvatiske miljøet med begynnende restituering av bunndyr- og krepsdyrsamfunn og bedret rekruttering hos fisk. Skogtilstanden har forbedret seg noe de siste to årene. Den negative trenden for skog i perioden 1989-1997 ser dermed ut til å være snudd, men årsaken til endringen er usikker. Bedrede vekstbetingelser som følge av klimavariasjoner kan spille en rolle. Luftforurensninger generelt antas å svekke trærne slik at de lettere blir påvirket av andre skadelige forhold. Det er registrert endringer i vegetasjon som kan skyldes luftforurensninger, samtidig ser vi en framvekst av forurensningsfølsom lav. Det er ikke registrert tilbakegang i rovfugl- eller spurvefuglbestander i Sør-Norge.

Flommen på Sør- og Østlandet høsten 2000 resulterte i en dramatisk nedgang i pH og alkalitet i vann og vassdrag, men ingen økning i aluminium eller markert nedgang i ANC. Etter flommen øket pH og alkalitet raskt tilbake til normalt nivå. Det er for tidlig å si noe om langtidseffektene av flommen.

Selv om vi kan glede oss over en positiv utvikling på forurensningssituasjonen, er det viktig å understreke at det er langt igjen før forurensningsproblemet i Norge er løst. Problemet er avtagende, men fremdeles mottar store deler av Sør-Norge mer forurensende komponenter i nedbør enn naturen greier å ta hånd om. Resultatet av dette er fortsatt forurensning og dertil store skader på biologiske samfunn

Utslipp, luft og nedbør

Utslippene av svoveldioksid i Europa er redusert med omlag 56% fra 1980 til 1998 (EMEP, 2000). Utslippsreduksjonen fra 1990 frem til 1998 har vært på ca 41%. Reduksjonen har vært størst i de vestlige land, men også i øst er reduksjonene på over 30% fra 1980. Utslippene av både nitrogenoksider og ammoniakk økte frem til 1990, men har avtatt i perioden 1990 til 1998 med henholdsvis ca. 20 og 14%.

Endringene av svovel- og nitrogenkomponenter i luft og nedbør er i samsvar med de rapporterte endringer i utslipp i Europa. I perioden 1980 til 2000 har den gjennomsnittlige konsentrasjonen av sulfat i nedbør på fastlandsstasjonene avtatt med 54-72%. Endringene i nitrogenkomponentene i nedbør er ikke så markante. Reduksjonene av svoveldioksid i luft med 1980 som referanseår er beregnet til å være større enn 72%, og luftens innhold av partikulært sulfat er redusert med mellom 64% og 72%. Endringen i svoveldioksid- og sulfatkonsentrasjonene ved Ny-Ålesund har vært hhv. 72 og 59% siden 1980.

Årsmiddelkonsentrasjonene av summen ammonium+ammoniakk i luft viser ingen markert tendens, men for de oksiderte nitrogenkomponentene imidlertid har det vært en ganske klar nedgang etter 1990.

Antall episodedøgn for bakkenært ozon var lavt i 2000 sammenlignet med den forutgående tiårsperioden (1990-1999). Likevel var maksimal timemiddelkonsentrasjon, $172 \mu\text{g}/\text{m}^3$, den høyeste på flere år. Tålegrensene for akkumulert ozoneksponering av henholdsvis skog og landbruksvekster ble ikke overskredet på noen av stasjonene i 2000.

Vannkjemi

Nedgangen i sulfatdeposisjonen har medført nedgang i sulfatinnhold i elver og innsjøer på 30-60 % fra 1980-2000. 2000 viser de laveste sulfatnivåene i vann som er registrert så langt innen overvåkingen. Som en følge av dette, har forsuringssituasjonen i vann og vassdrag vist en klar forbedring gjennom hele 90-tallet. I 2000 finner vi de høyeste verdiene av ANC og de laveste verdiene av uorganisk aluminium ("giftig aluminium") som er registrert i overvåkingen. Høsten 2000 var preget av en kraftig flom på Sør- og Østlandet som virket kraftig inn på pH og alkalitet med ikke på uorganisk aluminium og ANC. Vannkjemien gikk raskt tilbake til normalt nivå etter flommen. Forbedringene i forsuringssituasjonen er mest markert i de sterkest forsurede områdene på Sørlandet og noe mindre markert på Vestlandet og Østlandet. Selv Midt-Norge og Nord-Norge som har svært lav forurensningsbelastning viser tendenser til redusert forsuring. Øst-Finnmark, som er påvirket av industri-utslipp på Kola viser en mindre entydig utvikling. Nitrat varierer generelt en del fra år til år og det er ingen tydelige nedadgående trender. Likevel ser vi at for mange av regionene er de laveste konsentrasjonene av nitrat registrert de siste tre til fire årene. Samtidig med disse endringene ser vi også en økning i organisk karbon (TOC) som ikke umiddelbart er lett å forklare. Økningen kan være klimatisk betinget, men også ha en sammenheng med endringer i forsuringssituasjonen.

Akvatisk fauna

Invertebrater

Bunndyrundersøkelsene i rennende vann, som startet tidlig på 1980-tallet, viste i 2000 litt større skader i to vassdrag sammenlignet med foregående år. To av vassdragene hadde mindre skader enn foregående år, mens situasjonen i to vassdrag var uforandret. Vassdragene i overvåkingsprogrammet viser store forskjeller med hensyn til skadeomfang. Generelt har vassdragene på Sørlandet og Sørvestlandet størst skader. Vassdragene lenger nord på Vestlandet har en mindre skadet bunndyrfauna.

Innsjøundersøkelsene av bunndyr og småkreps indikerer at forsuringssituasjonen er alvorlig i sørlige deler av Østlandet, på Sørlandet og Vestlandet (moderat - meget sterkt forsuringsskadet). I nordlige deler av Østlandet og Fjellområdene i Sør-Norge er de fleste lokalitene moderat til lite skadet, men det finnes også lokaliteter som er sterkt skadet i disse regionene. I Nord-Norge inkludert Øst-Finnmark er invertebratsamfunnene i de fleste tilfellene ubetydelig skadet, men det finnes også en del innsjøer som vurderes til moderat forsuringsskadet. År til år variasjoner i artsrikdom og dominansforhold er vist for de fleste innsjøene. Endringene er imidlertid svært små og gir, over de fem årene overvåkingen har pågått, ikke grunnlag for å konkludere med en generell bedring i forsuringssituasjonen. For

enkeltlokaliteter, der det fins eldre data, er det imidlertid indikasjoner på små endringer i positiv retning over de siste 10-25 år. En positiv utvikling, med reetablering av forsureingssensitive arter i siste del av perioden, er først og fremst registrert for region III (krepsdyr og bunndyr) og for regionene IV (Sørlandet-Øst) og V (Sørlandet-Vest) (bunndyr).

For fire innsjøer er krepsdyrfaunaen rekonstruert for perioden før forsuringen startet og fram til i dag. Dette er gjort ved å studere skallrester og hvileegg av vannlopper funnet på ulike sjikt i sedimentet. Forekomsten av forsureingssensitive vannlopper og vurdering av tidspunkt for når disse eventuelt forsvant fra innsjøen samvarierer med graden av forsureingsskader på den eksisterende faunaen. Disse artene forsvant tidligere fra innsjøer som i dag vurderes som sterkt forsuret sammenlignet med mindre forsurete innsjøer. Resultatene viser også at enkelte forsureingssensitive arter antagelig alltid har manglet i de mest sure innsjøene, også i perioden før forsuringen startet.

Fisk

I 2000 ble 14 innsjøer prøvafisket, fordelt på region III (Fjellregion Sør-Norge), VI (Vestlandet-Sør), VIII (Midt-Norge) og X (Øst-Finnmark). Med unntak av fire lokaliteter ble det bare fanget aure. Bortsett fra en innsjø, har alle lokalitetene vært prøvafisket tidligere. I seks innsjøer med aure har fangstutbyttet økt, mens det har vært en nedgang i seks andre lokaliteter. Fangstindeksen viser en positiv utvikling hos aure i region VI. I regionene III, VIII og X har derimot fangstindeksen ikke endret seg vesentlig. Disse regionene har forholdsvis tynne aurebestander, uten at det trenger å være en effekt av forsuring. Elfiske i gytebekker viser store årsvariasjoner rekrutteringen hos aure med både negativ (Saudlandsvatn, Vest-Agder) og positiv utvikling (Vikedal, Rogaland).

Jord og jordvann

Jordkjemiske undersøkelser utføres i 8 felt i en 8 års rotasjon. I en periode på 19 år er alle felt er nå prøvetatt 2 ganger og 3 felt er prøvetatt 3 ganger. Resultatene fra den tredje runden med jordprøvetaking for de to sist undersøkte feltene på Østlandet gir noe motstridende resultater for enkelte parametre, men vurdert samlet ser det ut til å være en viss bedring i den jordkjemiske tilstanden i forhold til forsuressituasjonen, med nedgang i vannløslig sulfat, jord- pH, Al og noe stigning i basemetning. Sommeren 2000 ble Langtjern i Buskerud undersøkt og her viste gjennomsnittlig jord-pH lik eller lavere nivåer i 2000 sammenlignet med 1991 og 1983 i 0-2 cm sjiktet. Ved større jorddyp har pH avtatt markert. Vannløselig sulfat er høyere i 2000 enn 1991. Basemetning og mengden av utbyttbare kationer viser en økende tendens, mens aluminium viser en avtagende tendens. Endringene har vært mest markert i nivåene 0 - 6 cm.

Overvåking av jordvann viser at kjemiske endringer i jordvann reflekterer forskjeller i belastningsnivå for langtransporterte forurensninger. I Lund (Rogaland) viser undersøkelsene redusert pH og kalsium. Både Lund og Solhomfjell (Aust-Agder) har et Ca/Al-forhold til dels under 1. I områdene i Møsvatn og Gutulia har pH i jordvannet steget noe i perioden. Konsentrasjonen av totalt nitrogen har sunket i de fleste områdene. Det er ikke påvist noe dårligere skogsvitalitet som følge av forsuring eller andre kjemiske endringer i Lund og Solhomfjell.

Skog

Forbedringen i kronetilstand som er registrert de siste årene er positiv for skogen. Årsaken til forbedringen er usikker, men generelt regner vi med at årsaker til endringer i trærnes kronetetthet og kronefarge er et resultat av graden av ulike stresspåvirkninger, slik som aldring, soppangrep, marginale vekstbetingelser og klimastress (tørke og frost). Store deler av norsk skog vokser under barske klimatiske forhold, spesielt mot fjellet og mot nord. Bedre vekstbetingelser i forbindelse med klimavariasjoner (spesielt fuktige somre) kan være en viktig faktor for økning i kronetetthet som nå observeres.

Resultater fra skogøkologiske undersøkelser på intensivflater viser at skogøkosystemet er stabilt. Det er likevel betydelige variasjoner fra år til år i enkelte målinger, men dette er trolig innenfor den variasjon som er normalt i slike barskogsystemer.

Terrestrisk flora og fauna

I undersøkelser av markvegetasjonen i barskog i Solhomfjellområdet (Aust-Agder) er det påvist endringer i karplantenes sammensetning som kan skyldes effekter av lang tids forurensningsbelastning. Endringer i mosefloraen synes best relatert til klimaendringer. I bjørkeskog i en del av de andre TOV-områdene er det også påvist endringer i markvegetasjonen, men det er ikke sannsynlig at disse endringene skyldes langtransporterte forurensninger.

Registreringer av epifyttisk vegetasjon på stammer av bjørk (på furu i Solhomfjell) viser en klar sammenheng mellom lavenes forekomst og skadestatus og registrerte forurensningsbelastninger i nedbøren, med lavest dekning og høyest skadeomfang i sørlige områder. Det er registrert noe forbedring i disse parameterne ved gjenkartlegging etter 5 og 10 år. Landsomfattende kartlegging av epifyttvegetasjon viste bl.a. en viss økning i dekning av alger, noe som indikerer økt påvirkning av nitrogen i luft og nedbør.

Overvåkingen av rovfugl (kongeørn og jaktfalk) i TOV-områdene viser god produksjon også i de forurensede områdene i Sør-Norge. Men samtidig viser landsomfattende registreringer at belastninger av miljøgifter i rovfuglegg fremdeles er høye for flere arter. For spurvefugl er det ingen tegn til vesentlig annerledes bestandsvariasjoner i sørlige, forurensningsbelastede områder enn i nord, men svarthvit fluesnapper har tidligere år vist noe lavere klekkesuksess i de sørligste områdene.

Acidification status in Norway 2000

About the monitoring programmes

This report covers the main result for 2000 from three national monitoring programmes “Monitoring of long-range transported air-pollution”, “Monitoring programme for forest damage” (OPS) and “Programme for terrestrial ecosystem monitoring” (TOV). These three programmes organise extensive monitoring on air, water, soil, forest and other terrestrial vegetation, and aquatic and terrestrial fauna.

Air

Emissions of SO₂ in Europe have decreased by about 56% since 1980, 41% since 1990. The emissions of NO₂ and NH₄⁺ increased up to 1990 but have decreased since then by about 20 and 14% respectively. The reductions in SO₂ emissions are reflected in a decrease in the measured SO₂ concentrations in air in Norway, by more than 72%. The concentration of particulate sulphate has decreased by 64 to 72%, and the concentration of sulphate in precipitation has decreased by 54 to 72% since 1980. The sulphur concentrations are in general the lowest measured since the beginning of the monitoring program. Ammonia shows no systematic long-term change, while there is a clear decrease in the concentration of the oxidised nitrogen species in air the last ten years.

Water

The decrease in sulphate in deposition has caused a decrease in sulphate in lakes and rivers of 30-60% from 1980-2000. 2000 in general shows the lowest sulphate content in lakes and rivers measured during the monitoring programme (since 1980). As a consequence, the acidification situation in lakes and rivers has shown a clear improvement in the 1990ies with increases in pH and ANC (acid neutralising capacity) and decrease in inorganic (toxic) aluminium. There is no systematic long-term change in nitrate, although the three to four last years, 1997 to 2000, in general show lower values than previously observed. During the last few years an increase in TOC has been found.

In the autumn of 2000 southern parts of Norway were subjected to severe flooding over a 2-months period. This resulted in a dramatic drop in pH and alkalinity, while labile aluminium was not affected. After the flooding, pH and alkalinity returned to normal values.

Aquatic fauna

The monitoring of benthic invertebrates in running waters, which started in the early 1980-ties, demonstrated a small increase in damages in 2000 in two of the monitored watersheds compared to the previous year. Improved conditions were found in two watersheds, while the response of the benthic invertebrate community remained unchanged in two watersheds. Since 1990 a positive trend is found in most of the watersheds. Regional differences are, however, still prominent. Generally, watersheds in southernmost Norway are more damaged than those situated further north and in the mountain areas in Southern Norway.

The monitoring of benthic invertebrates as well as planktonic and littoral crustaceans in lakes (1996-2000) confirm the general trend that watersheds in southernmost Norway are more damaged than those situated further north and in the central mountain areas of Southern Norway. The species richness and composition does not indicate clear improvements with

regard to acidification during the five years of study. However, data from some lakes might indicate small positive changes in the invertebrate communities in the southernmost Norway during the last 10-25 years, with the recolonisation of sensitive taxa during the second half of this period.

Studies of cladocerans from lake sediments have been carried out for some of the lakes. The occurrence and eventually time of disappearance of sensitive taxa based on the palaeolimnological studies show high correlation with the degree of acidification damages based on the present fauna. Some of the acid sensitive species may never have occurred in the most acidic lakes, not even prior to acidification.

Fish

Test-fishing was carried out with gill-nets in three regions in mid and south-western Norway and one region in northern Norway. However, improvement in brown trout populations was registered in one region only; southern part of Western Norway. In the other three regions there has been small changes in the abundance of brown trout. The density of young brown trout in tributary streams to lakes was assessed by means of electrofishing. The recruitment of brown trout in tributaries to Lake Saudlandsvatn in southernmost Norway decreased dramatically from 1999 to 2000. However, in tributaries to lakes in two catchments in southwestern Norway, densities of young brown trout increased during the same period. In tributaries to lakes in Gaular watersheds in western Norway, densities of young brown trout remain low.

Soil and soil water

Monitoring of soil chemistry is performed in 8 catchments with 8 year interval. All research areas have been sampled twice within an 8 – 9 year monitoring rotation. 3 areas have been sampled 3 times in the last 18 years. At Langtjern the average soil-pH was stable or lower in 2000 compared to previous recordings in the 0-2 cm depth. At lower levels pH has decreased significantly in 2000 compared to 1991, water extractable sulphate is similarly higher in 2000 than both 1991 and 1983. Base saturation and the amount of exchangeable cations have had an increasing tendency in depth 1 – 3 in the period 1983 -2000. Thus, at Langtjern changes in soil chemistry have been most profound at 0 - 6 cm depth.

Chemical changes in soil water in the investigated areas largely reflect variation in deposition patterns of long-range transported pollutants. In Lund (Rogaland), studies show reduced pH and Ca concentrations. Lund and Solhomfjell (Aust-Agder) have Ca/Al values partly below 1. In Møsvatn (Telemark) and Gutulia (Hedmark) pH has increased somewhat during the study period. Concentrations of total nitrogen have decreased in most areas. In spite of the chemical changes of soil water in the southernmost areas, no effect on forest vitality has been detected as a consequence.

Forest

Improved crown condition has been observed during the last years. Improved growth conditions caused by variations in the climate conditions may play an important role.

Results from ecological investigations on intensively monitored plots reveal that these forest ecosystems are stable. Although there are considerable variations in some of the

measurements, these variations are probably due to natural conditions in coniferous ecosystems.

Terrestrial flora and fauna

Studies of the ground vegetation in conifer forest in the monitoring area in Solhomfjell (Aust-Agder) indicate changes in the composition of vascular plants, which may be related to pollution effects over an extended period. Changes in the bryophyte flora are most consistent with climate variation. In birch forest in the other monitoring areas, observed changes in the ground vegetation are unlikely to be due to effects of long-range pollution.

Inventories of epiphytic lichens on trunks of birch in the monitoring areas (pine in Solhomfjell), show a clear relationship between lichen coverage and damage and deposition patterns of pollutants, with lowest coverage and highest damage frequency in the southernmost areas. Repeated inventories after 5 and 10 years indicate generally improved coverage and damage status in the southern areas. Nation-wide inventories of epiphytic vegetation show some increase in coverage of algae, indicating increasing deposition of nitrogen compounds.

Monitoring of golden eagles and gyrfalcons in the monitoring areas indicate good production also in the most polluted areas of South Norway. However, nation-wide inventories of organic toxic compounds in eggs of birds of prey still indicate worrying levels in many species. There is no indication that population variations in passerine birds are significantly different in southern compared to northern areas. However, hatching success of pied flycatchers in the southernmost areas has been somewhat lower for some of the early years of the monitoring.

1. Innledning

I Norge er det i dag tre statlige overvåkingsprogrammer som overvåker effekter av langtransporterte forurensninger på økosystemer. Disse tre programmene organiserer omfattende måleprogrammer på luft, vann, jord og skog samt akvatisk og terrestrisk fauna. Dette er store og arbeidskrevende programmer hvor mange norske forskningsmiljøer er involvert. Resultatene rapporteres i forskjellige hovedrapporter og delrapporter, og det kan derfor være vanskelig å få den totale oversikten over hovedresultatene fra overvåkingsprogrammene og hvordan de kompletterer og utfyller hverandre.

Vi ønsker her å gi en kortfattet og samlet oversikt over de viktigste resultatene fra de tre overvåkingsprogrammene. For en grundig dokumentasjon om gjennomføring og resultater henviser vi til rapportene som denne sammendragsrapporten baserer seg på.

Felles for alle overvåkingsprogrammene er en målsetning om at resultatene skal brukes for å vurdere behovet for tiltak og virkninger av tiltak. Overvåkingen skal dessuten gi en oversikt over forurensningssituasjonen og nødvendig kunnskap om generelle forurensningsproblemer, og er i mange tilfeller et ledd i internasjonale avtaler som Norge har underskrevet.

Overvåkingen gjennomføres for å kunne:

- treffe beslutninger om tiltak m.h.p. utslippsberegninger nasjonalt
- dokumentere effekter av internasjonale avtaler
- dokumentere behov for ytterligere tiltak internasjonalt og styrking av avtalene
- vurdere behov for og eventuelt omfang av reparerende tiltak
- gi grunnlag for informasjon generelt til politikere, myndigheter og publikum

For arbeidsområdet langtransporterte luftforurensninger, som de tre programmene i denne rapporten omhandler, er hovedmålet:

“Arbeide for at naturens tålegrense for forsurening og bakkenært ozon ikke overskrides”.

1.1 Presentasjon av programmene

Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør

Programmet for ”Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør” startet i 1980 i regi av Statens forurensningstilsyn (SFT) etter avslutningen av forskningsprosjektet ”Sur nedbørs virkning på skog og fisk” (SNSF-prosjektet). Formålet til ”Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør” er blant annet å klarlegge endringer i luft, vannkjemi og jord relatert til langtransporterte luftforurensninger over tid og hvilken virkning dette har på akvatisk fauna (bunndyr, krepsdyr og fisk). SFT har hovedansvaret for koordineringen av overvåkingsprogrammet og administrerer overvåkingen av atmosfæriske tilførsler og den vannkemiske overvåkingen. Direktoratet for naturforvaltning (DN) administrerer den biologiske delen. Det faglige ansvaret for de forskjellige delene av programmet er fordelt mellom Norsk institutt for luftforskning (NILU) (atmosfæriske tilførsler), Norsk institutt for vannforskning (NIVA) (vannkjemi), Norsk institutt for skogforskning (Skogforsk) (jordkjemi i små nedbørfelt), Norsk institutt for naturforskning

(NINA) (fisk- og krepsdyrundersøkelser) og Zoologisk institutt, Universitetet i Bergen (UiB) (bunndyrundersøkelser). Det faglige samarbeidet koordineres gjennom en arbeidsgruppe oppnevnt av SFT der SFTs representant har formannsvervet.

Overvåkingsprogram for skogskader (OPS)

Landbruksdepartementet og SFT er oppdragsgivere og finansierer "Overvåkingsprogram for skogskader" (OPS) som ble opprettet i 1985. Formålet til OPS er blant annet å klarlegge skadeomfanget på norsk skog, vise utviklingstendenser over tid, og belyse i hvilken grad langtransporterte luftforurensninger fører til skogskader i Norge. Programmet blir utført av NILU (tilførsel av luftforurensning), Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS) (representative undersøkelser av skogtilstand), skogoppsynet (skogtilstand i produksjonsskog) og Skogforsk (skogøkologiske undersøkelser på "intensivflater") som også koordinerer programmet. OPS har en egen styringsgruppe.

Program for terrestrisk naturovervåking (TOV)

Program for terrestrisk naturovervåking (TOV) ble startet av Direktoratet for naturforvaltning (DN) i 1990 for å belyse effektene av langtransporterte forurensninger på representative terrestriske økosystemer i norsk natur. Programmet omfatter studier av effekter av forsuring, nitrogengjødsling, metaller og organiske miljøgifter. Det foregår dels som integrerte studier av nedbør, jord, vegetasjon og fauna i syv overvåkingsområder og dels i form av landsomfattende og regionale kartlegginger av status for noen biologiske forurensningsindikatorer. DN står for finansiering og styring av TOV, og har støttet seg til et fagråd i utviklingen og gjennomføringen av programmet. Det faglige ansvaret for de forskjellige delene av programmet er lagt til NILU (nedbør), Skogforsk (jord, jordvann), NINA (markvegetasjon, epifyttisk vegetasjon, fauna, miljøgifter i næringskjeder, radioøkologiske undersøkelser) og Botanisk hage og museum, Universitetet i Oslo (vegetasjon i barskog).

1.2 Overvåkingsprogrammene i internasjonalt perspektiv

Resultater fra de norske overvåkingsprogrammene er et viktig redskap for norske forvaltningsmyndigheter til å holde en oversikt over naturtilstanden i Norge og hvordan den påvirkes/endres av langtransporterte forurensninger. Resultatene brukes imidlertid også til å oppfylle Norges forpliktelser i de internasjonale avtalene under "Konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger" (CLRTAP) som ble etablert i 1979. CLRTAP er en rammeavtale som har til formål å verne mennesker og miljø mot luftforurensning. Konkrete forpliktelser om utslippsreduksjoner er nedfelt i protokoller. I dag finnes det syv protokoller under konvensjonen som regulerer utslipp. Årstallene i parentes viser når protokollen ble undertegnet;

1. **Nitrogenprotokollen (1988)** forplikter landene til å redusere sine NO_x-utslipp til 1987-nivå.
2. **VOC-protokollen (1991)** forplikter landene til å redusere utslippene av flyktige organiske komponenter (VOC) med 30% relatert til 1988 (eller et valgfritt år mellom 1984 og 1990).
3. **Svovelprotokollen (1985)** forplikter landene til å redusere utslippene av svovel med 30%

4. **Den 2. Svovelprotokollen (1994)** forplikter landene til å redusere sine utslipp av svovel slik at overskridelsen av tålegrensen for tilførsler av svovel reduseres med minst 60% relativt til 1980-nivå. Denne protokollen erstatter den 1. Svovelprotokollen.
5. **Tungmetallprotokollen (1998)** forplikter landene til å gjennomføre tiltak for å redusere utslippene av tungmetaller (Pb, Hg, Cd) til 1990 eller en gitt referanse mellom 1985 og 1990.
6. **POP-protokollen (1998)** forplikter landene til å gjennomføre tiltak for å redusere utslippene av et utvalg (ca. 20) persistente organiske forbindelser (POP) i forhold til 1990 eller en gitt referanse mellom 1985 og 1990.
7. **Multi-effekt/multi-forurensningsprotokollen (Multi-protokollen) (1999)** tar for seg forsuring, eutrofiering og bakkenær ozon som forårsakes av utslipp av svovel, nitrogenoksider, ammonium og flyktige organiske komponenter (VOC).

Gjennom protokollene forplikter landene seg til å overvåke utslipp, tilførsler og effekter av langtransporterte forurensninger. Alle aktivitetene er organisert i samarbeidsprogrammer hvor programsentre er ansvarlig for samordning og rapportering av data fra alle deltagende land. Et program omhandler registrering av utslipp, overvåking av luft- og nedbørkjemi samt modellering av hvordan luftforurensninger beveger seg (Det europeiske måle- og evalueringsprogrammet for langtransporterte forurensninger - EMEP). I tillegg finnes syv forskjellige programmer (International cooperative programmes - ICPs) som omhandler effekter; vann (ICP Waters), skog (ICP Forests), økosystem struktur (ICP Integrated Monitoring), vegetasjon (ICP Vegetation), materialer (ICP Materials), tålegrenser (ICP Mapping) og menneskelig helse (Joint TF on Human health (sammen med WHO)).

Norge bidrar aktivt innen de fleste av disse programmene (eneste unntaket er landbruksvekster), både med data og med faglig ekspertise. Resultater fra de norske overvåkingsprogrammene "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør", OPS og TOV bidrar til å oppfylle de norske forpliktelsene om å overvåke effektene av de forskjellige protokollene. Data fra programmene blir rapportert direkte til ICP-ene hvor de blir bearbeidet og rapportert sammen med data fra andre europeiske og nord-amerikanske land.

1.3 Sammendragrapporten er basert på følgende hovedrapporter:

Referer til denne rapporten som:

SFT, 2001. Overvåking av langtransporterte forurensninger 2000; Sammendragrapport. SFT-rapport 829/2001, TA 1812/2001.

Luft og nedbør:

SFT, 2001. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 2000. W.Aas, K. Tørseth, S. Solberg, T. Berg, S. Manø og K.E. Yttri. SFT rapport 828/01.

Vannkjemi, vannbiologi og jord:

SFT, 2001. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Effekter 2000. SFT-rapport under utarbeidelse. Vil bli tilgjengelig fra ca. 1 oktober 2001.

Skog og jord:

Hylen, G. & Larsson, J. Y. 2001. Landsrepresentativ overvåking av skogens vitalitet i Norge 1989-2000. [National monitoring of forest vitality in Norway 1989-2000]. Rapport 1/2001:1-55.

Røsberg, I., Sjøbakk, T.E., Steinnes, E. og Aamlid, D., 2001. Program for terrestrisk naturovervåking. Overvåking av jordvann - Sluttrapport 2000. Rapport fra skogforskningen (i trykk).

Solberg, S. 2000. Skogoppsynets overvåkingsflater. Vitalitetsregistreringer 2000. Rapport fra skogforskningen 16/00:1-17.

Solberg et al. 2001. Intensive skogovervåkingsflater. Resultater fra 2000. [Intensive forest monitoring plots. Results 2000.] Aktuelt fra Skogforskningen 2000. Under utarbeidelse.

Terrestrisk flora og fauna

Bakkestuen, V. & Stabbetorp, O.E., 2001. Terrestrisk naturovervåking. Vegetasjonsøkologiske undersøkelser av boreal bjørkeskog i Børgefjell, Nord-Trøndelag. NINA Oppdragsmelding (i trykk).

DN, 1997. Natur i endring. Program for terrestrisk naturovervåking 1990-1995. Direktoratet for naturforvaltning, Trondheim. 160 ss.

Kålås, J.A. & Framstad, E., 2001. Terrestrisk naturovervåking. Smågnagere og fugl i TOV-områdene 2000. NINA Oppdragsmelding (i trykk)

Økland, R.H., Skrindo, A. og Hansen, K.T., 2000. Endringer i trærns vekst og vitalitet, vegetasjon og humuslagets kjemiske og fysiske egenskaper i permanente prøveflater i barskog i overvåkingsområdet Solhomfjell, 1988-1998. Botanisk hage og museum, Universitetet i Oslo, Rapport 5: 1-76.

2. Luft og nedbør

Den atmosfæriske tilførselen av forurensende forbindelser overvåkes ved måling av kjemiske forbindelser i luft og nedbør. Forurensningene tilføres med nedbør, og ved tørravsetning av gasser og partikler. Målet for overvåking av luftens og nedbørens kjemiske sammensetning på norske bakgrunnsstasjoner er å registrere nivåer og eventuelle endringer i tilførselen av langtransporterte forurensninger. Bakgrunnsstasjonene er derfor plassert slik at de er minst mulig påvirket av nærliggende utslippskilder. NILU startet regelmessig prøvetaking av døgnlign nedbør i 1971, med de fleste stasjonene på Sørlandet. Senere er stasjonsnettet og måleprogrammet utvidet for å gi bedret informasjon om tilførsler i hele landet.

Måling av kjemiske hovedkomponenter i nedbør ble i 2000 utført døgnlign ved 9 stasjoner og på ukebasis ved 21 stasjoner (**Figur 1**). Luftprøvetaking av svovel- og nitrogenkomponenter er utført døgnlign, tre ganger hver uke (2, 2 og 3 døgns prøvetaking) eller ukentlign på 12 stasjoner. Innholdet av magnesium, kalsium, kalium, natrium og klorid i luft er bestemt på 11 av disse stasjonene. Kontinuerlige målinger av ozonkonsentrasjoner i luft er utført på 14 stasjoner, inklusive stasjonene Klyve, Haukenes og Langesund, drevet av SFTs kontrollseksjon i Nedre Telemark. I ukentlige nedbørprøver fra 11 stasjoner er konsentrasjonene av tungmetaller bestemt. Tungmetaller i luft måles på to stasjoner, det samme gjelder for organiske luftkomponenter.

2.1 Utslipp

Utslipp av forurensninger til atmosfæren skjer fra en lang rekke naturlige og antropogene kilder. Forbrenning av fossilt brensel er den viktigste kilde til svoveldioksid og nitrogenoksider i Europa. I tidsrommet 1950-1970 var det en markert økning i utslippene av både svoveldioksid og nitrogenoksider. I følge data som er samlet i forbindelse med EMEP-programmet, er utslippene av svoveldioksid redusert med omlag 56% fra 1980 til 1998 (EMEP, 2000). Utslippsreduksjonen fra 1990 frem til 1998 har vært på ca 41%. Reduksjonen har vært størst i de vestlige land, men også i øst er reduksjonene på over 30% fra 1980. Utslippene av nitrogenoksider økte frem til 1990, men har avtatt i perioden 1990 til 1998 med ca. 20%. Utslippene av ammoniakk har økt etter 1950-årene i sammenheng med veksten i landbruksproduksjonen og et mer intensivt husdyrhold i Europa. I perioden 1990 til 1998 avtok imidlertid utslippene av ammoniakk med ca. 14%.

Høsten 1999 ble den foreløpig siste internasjonale avtalen for reduksjon av utslipp av luftforurensninger undertegnet. Dette er en multikomponent protokoll og målsetningen er å redusere svovelutslippene i Europa med 63% innen år 2010 med 1990 som referanseår. Utslipp av nitrogenoksider skal reduseres med 41%, mens utslippene av ammoniakk skal reduseres med 17%.

2.2 Nedbørkjemi - våtavsetninger

De høyeste årsmiddelkonsentrasjoner av sterk syre, sulfat, nitrat og ammonium i 2000 var på sørlandskysten, med høyest verdier på stasjonene Søgne, Birkenes, Lista og Lardal. Våtavsetningen av sulfat, nitrat, ammonium og sterk syre var størst langs kysten fra Aust-Agder til Hordaland. Regionale fordelinger av middelkonsentrasjoner og våtavsetninger er vist på kart i **Figur 2**. For ammonium er som tidligere enkelte målestasjoner lokalt påvirket av landbruksaktivitet.

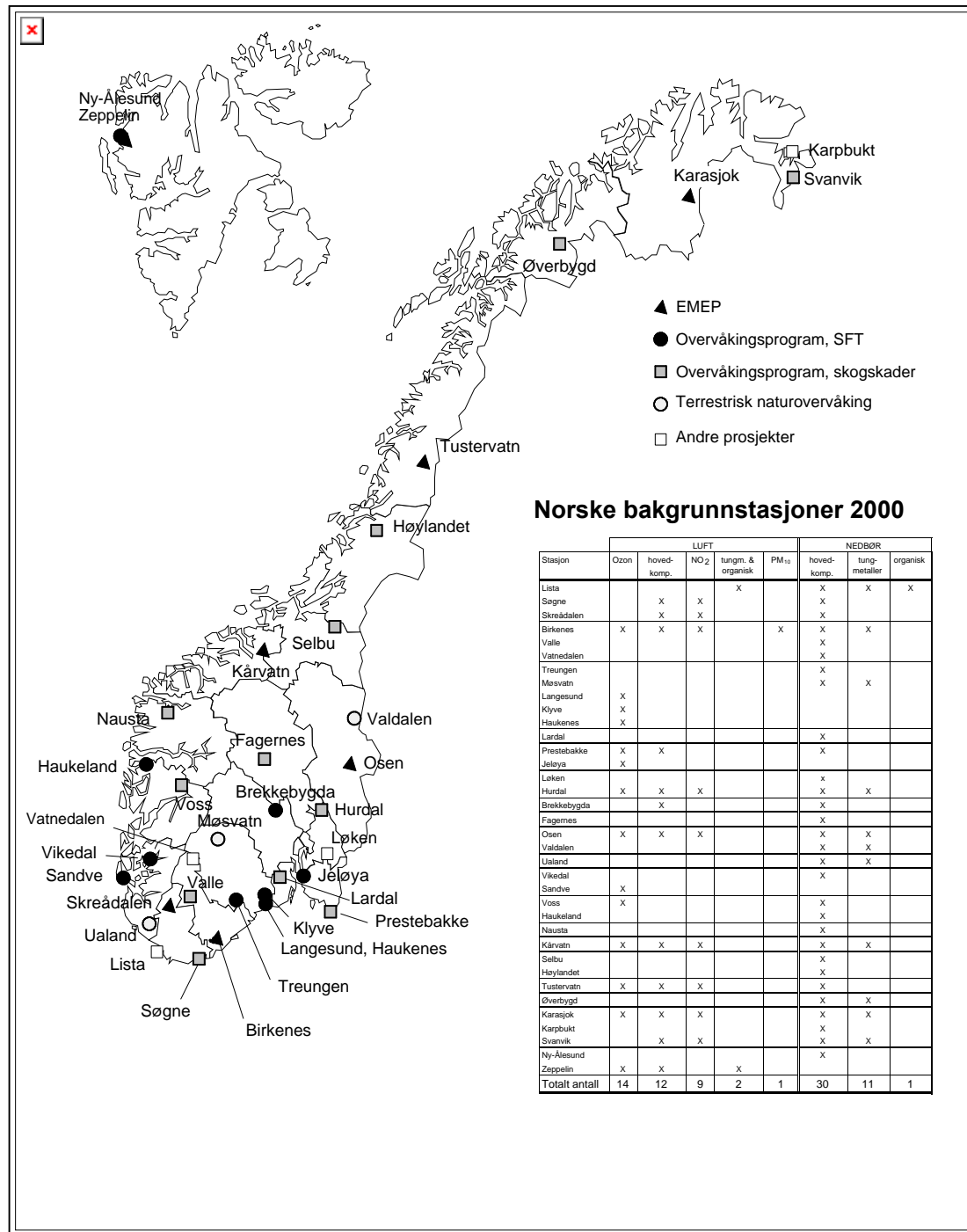
Ved de fleste målesteder var det i 2000 en svak nedgang i konsentrasjonene av sterk syre, sulfat, nitrat og ammonium sammenlignet med 1999. Konsentrasjonene av sterk syre og sulfat er blant de laveste siden NILU startet med sine målinger på syttitallet. Men man må være oppmerksom på at det var forholdsvis store nedbørmengder i 2000 slik at våtavsetningen var på mange stasjoner høyere i 2000 enn de senere år. På sørøstlandet var det voldsomme nedbørmengder i oktober og november, slik at våtavsetningen var høyest i disse månedene. På vestlandet var det derimot uvanlig lite nedbør i denne perioden og de høyeste våtavsetningen ble observert på vår og forsommer.

Endringene av nedbørens innhold av svovel- og nitrogenkomponenter er i rimelig samsvar med de rapporterte endringer i utslipp i Europa. Årsmiddelkonsentrasjonene av sulfat og sterk syre økte stort sett fram til slutten av 1970-årene, og har deretter avtatt (**Figur 3**).

Konsentrasjonene har avtatt mest i Sør-Norge, men de relative reduksjonene øker noe mot nord. Årsmiddelkonsentrasjonene av sulfat, nitrat, ammonium og magnesium er testet med hensyn på eventuelle trender for 12 målesteder med lange dataserier.

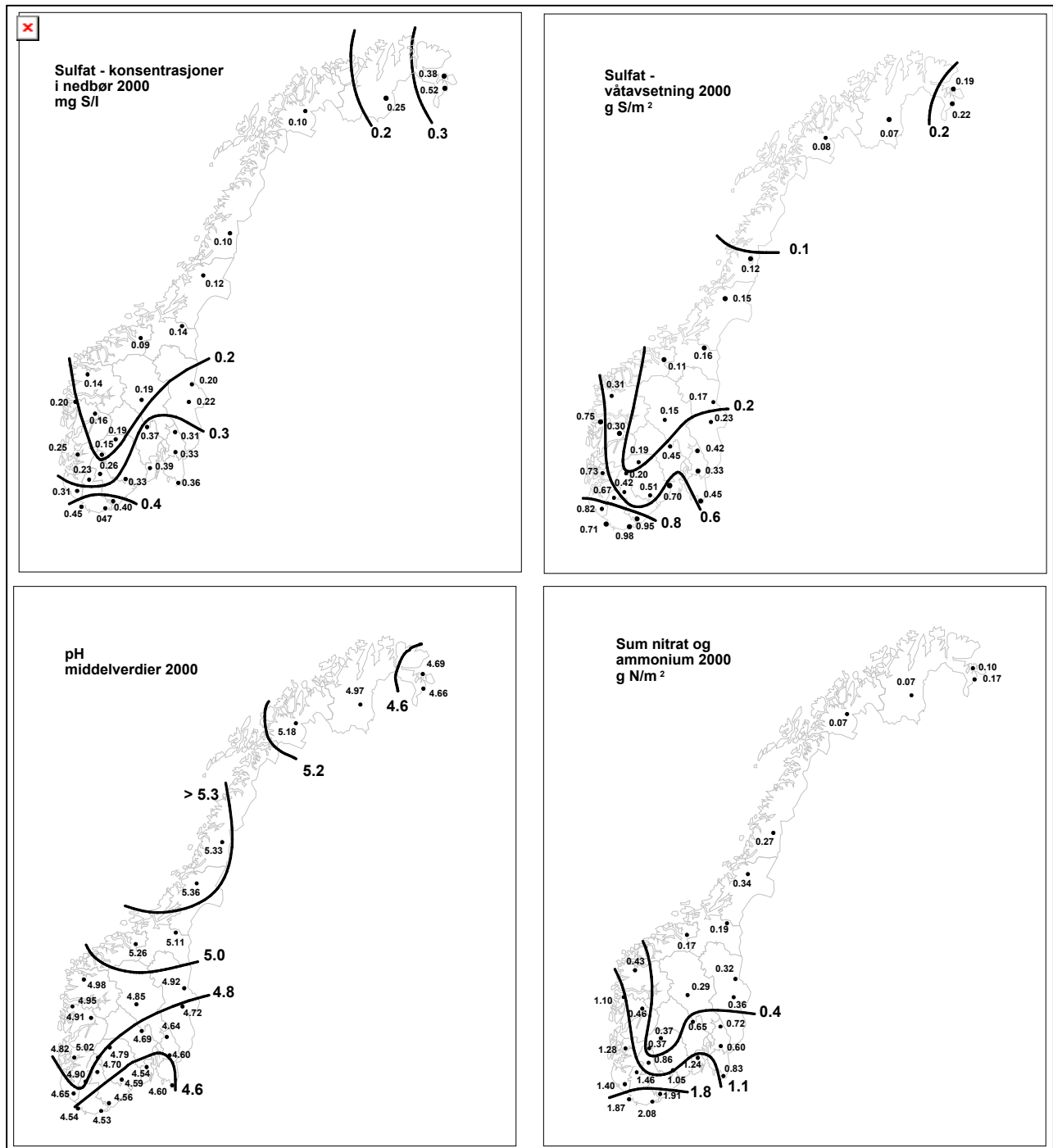
Årsmiddelkonsentrasjonene av sulfat i nedbør har avtatt signifikant siden 1980 på alle målesteder unntatt Ny-Ålesund. I perioden 1980–2000 var den gjennomsnittlige reduksjon i sulfatkonsentrasjoner på fastlandsstasjonene mellom 54 og 72%.

Årsmiddelkonsentrasjonene av nitrat på Birkenes og Løken er redusert signifikant siden 1980 men ikke ved noen av de andre målestasjonene. For ammonium har det vært en signifikant reduksjon ved fire målestasjoner (Birkenes, Løken, Brekkebygda og Vatnedalen), mens det har vært en økning ved Tustervatn. Endringer i konsentrasjonene av ammonium antas å være forårsaket av endring i bidraget fra lokale kilder.



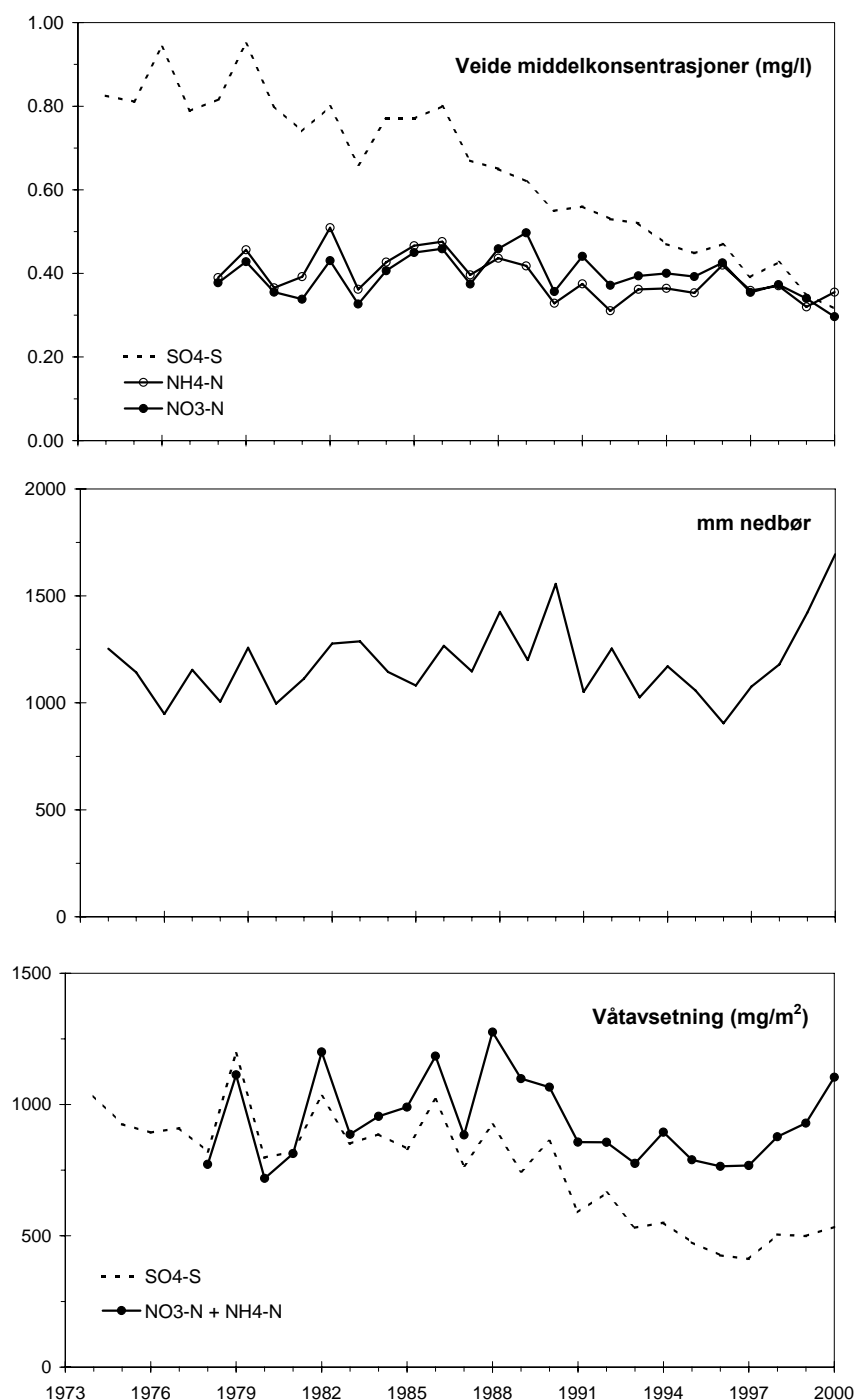
Figur 1. Lokaltiteter som inngår i overvåkingsprogrammet for atmosfærisk tilførsel og bakkenær ozon i 2000.

Figure 1. Localities in the monitoring program for atmospheric deposition and ground level ozone in 2000.



Figur 2. Middelkonsentrasjoner i nedbør av sulfat og pH, våtavsetning av sulfat og nitrat + ammonium på norske bakgrunnsstasjoner i 2000.

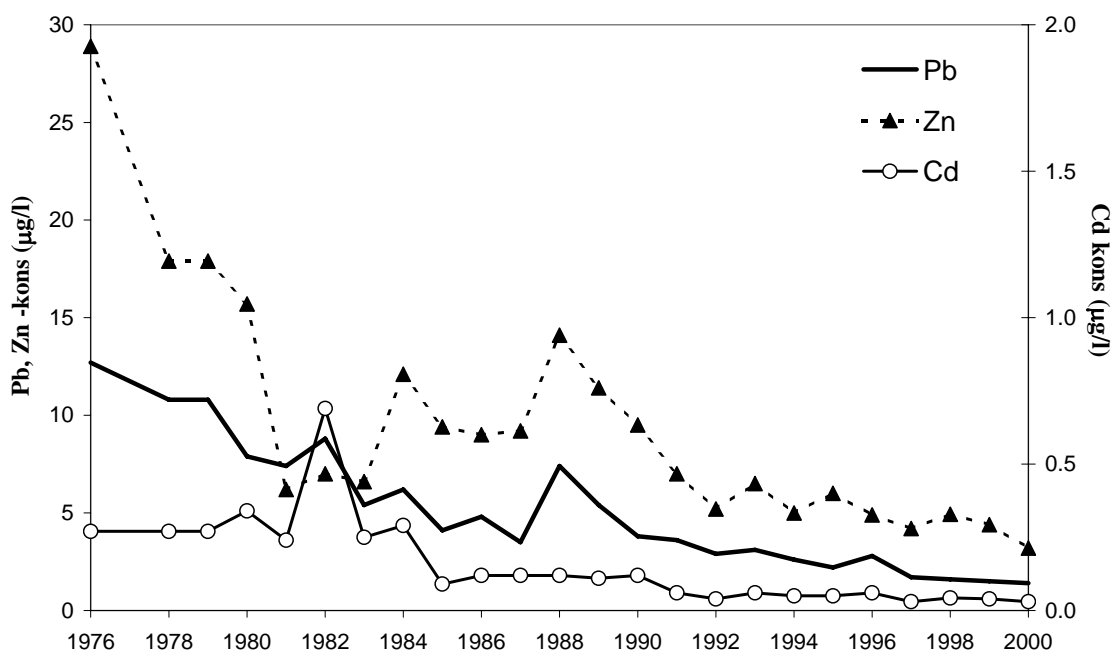
Figure 2. Annual mean concentrations of sulphate and strong acid (from pH), and wet deposition of sulphate and nitrogen compounds in Norway, 2000.



Figur 3. Veide årsmiddelkonsentrasjoner av sulfat (sjøsaltkorrigert), nitrat og ammonium, gjennomsnittlige årlige nedbørmengder og våtavsetninger av sulfat og nitrogenkomponenter 1973-2000 for 7 representative stasjoner på Sørlandet og Østlandet: Birkenes, Lista, Skreådalen, Vatnedalen, Treungen, Gulsvik/Brekkebygda og Løken.

Figure 3. Annual mean concentrations of sulphate (corrected for sea salts), nitrate and ammonium, averaged annual precipitation amounts and wet deposition of sulphur and nitrogen based on 7 representative sites in Southern Norway.

De høyeste årsmiddelkonsentrasjonene av bly, kadmium nikkel, arsen, kobolt og kopper i nedbør ble målt i Øst-Finnmark (Svanvik) grunnet nærliggende utslippskilder på Kolahalvøya i Russland. Årsmiddelkonsentrasjonen av f. eks. bly og kadmium var i Svanvik i 2000 på hhv 1,99 og 0,117 $\mu\text{g/l}$ mot 1,57 og 0,47 $\mu\text{g/l}$ som var maksimum i Sør-Norge. Konsentrasjonene av sporelementer i nedbør har generelt avtatt med 60 til 80% siden slutten av 1970-årene (Figur 4).



Figur 4. Middelkonsentrasjonene av bly, kadmium og sink i nedbør på Birkenes, Aust-Agder for årene 1976-2000.

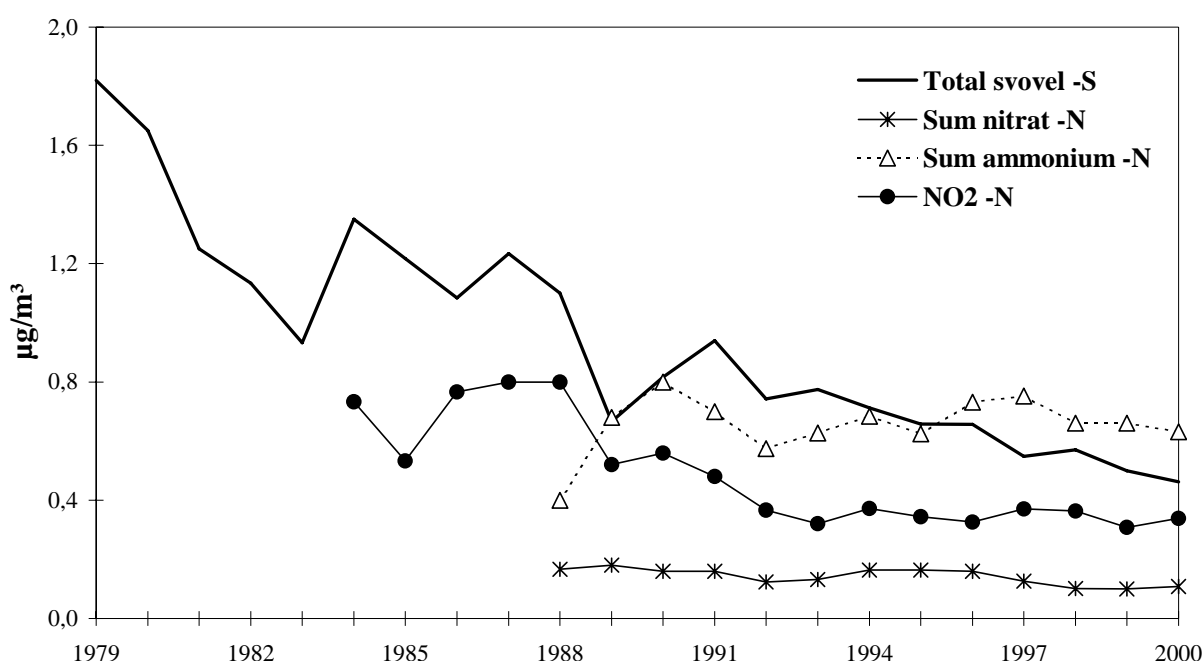
Figure 4. Annual mean concentrations of Pb, Cd and Zn in precipitation at the site Birkenes, 1976-2000.

2.3 Luftens innhold av forurensninger - tørravsetninger

Årsmiddelkonsentrasjonene av svoveldioksid og sulfat i luft var høyest langs kysten i Sør-Norge og i Finnmark. Den markert høyeste årsmiddelverdien av svoveldioksid ($3,15 \text{ mg-S/m}^3$) i 2000 og den høyeste maksimumsverdien ($35,32 \text{ mg-S/m}^3$ midlet over to døgn) ble registrert på Svanvik i Sør-Varanger. Dette skyldes utslippskilder på Kolahalvøya i Russland. De høyeste årsmiddel-konsentrasjonene av oksiderte nitrogenforbindelser er i Sør-Norge. Månedsverdiene for NO_2 var høyest i vintermånedene, særlig på Hurdal og i Søgne, noe som til dels skyldes lokale kilder og da spesielt fra biltrafikk. Høyest årsmiddelverdier for "sum ammonium" hadde Skreådalen, Tustervatn og Svanvik som delvis skyldes påvirkning fra lokal landbruksaktivitet. Det ble også målt enkelte høye døgnmiddelkonsentrasjoner ved de fleste andre stasjoner. Årsmiddelkonsentrasjonene av svoveldioksid på Zeppelinfjellet lå noe høyere enn de fleste stasjoner på fastlandet (unntatt stasjonene i Finnmark, Søgne, Birkenes og Prestebakke). De øvrige årsverdiene på Zeppelinfjellet var lavere enn på fastlandet.

Våtavsetningen bidrar mest til den totale avsetningen i alle landsdeler, unntatt i Finnmark. Tørravsetningsbidragene av nitrogenforbindelser på Tustervatn, Skreådalen og Kårvatn skyldes delvis lokale ammoniakkutslipp, ved Søgne og Hurdal bidrar i tillegg også lokale utslipp av nitrogenoksider fra biltrafikk.

Reduksjonene er for svoveldioksidkonsentrasjonen med 1980 som referanseår, beregnet til å være større enn 72%, og for sulfat mellom 64% og 72%. Endringen i svoveldioksid- og sulfatkonsentrasjonene ved Ny-Ålesund har vært hhv. 72 og 59% midlere reduksjon siden 1980. Årsmiddelkonsentrasjonene av nitrogendioksid og nitrat+salpetersyre viser en klar nedgang for den siste tiårsperioden, mens konsentrasjonene av og ammonium+ammoniakk i luft er relativt uforandret (**Figur 5**).

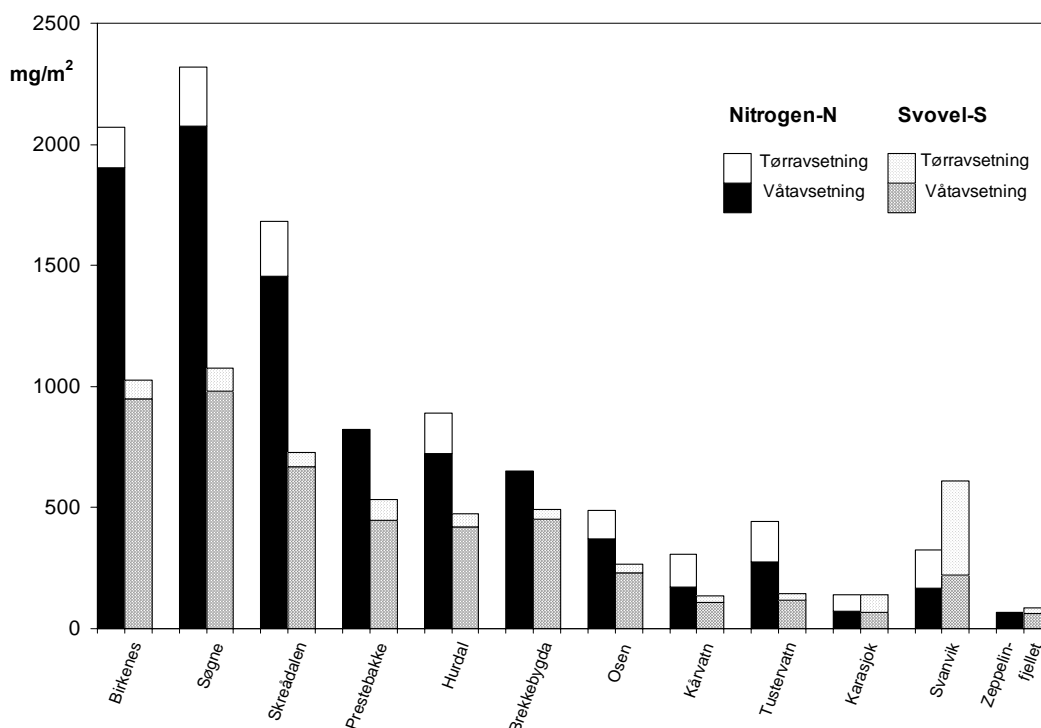


Figur 5. Midlere årlige konsentrasjoner i luft av total svovel ($\text{SO}_2 + \text{SO}_4^-$), oksidert nitrogen ($\text{HNO}_3 + \text{NO}_3$), redusert nitrogen ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4$) og NO_2 på norske EMEP-stasjoner (**Figur 1**).

Figure 5. Average annual mean concentrations of airborne sulphur, oxidized and reduced nitrogen compounds at Norwegian EMEP monitoring sites (see **Figure 1**).

2.4 Totalavsetning fra luft og nedbør

Tørravsetningen av svovel- og nitrogenkomponenter er beregnet til å være markert større om sommeren enn om vinteren i alle landsdelene. Bidraget av tørravsett svovel til den totale avsetning var 13-28% om sommeren og 3-9% om vinteren i alle landsdeler unntatt Finnmark. I Finnmark, særlig i Svanvik, er tørravsetningsbidraget meget høyt både sommer og vinter (hhv. 66% om sommeren og 54% om vinteren) på grunn av høye luftkonsentrasjoner og lite nedbør. Tørravsetningen for nitrogenkomponenter bidrar for det meste relativt mer til totalavsetningen enn hva som er tilfelle for svovelforbindelser, især om sommeren (**Figur 6**).



Figur 6. Estimert totalavsetning (sum av våt- og tørravsetning) av svovel- og nitrogenforbindelser på norske bakgrunnstasjoner i 2000.

Figure 6. Estimated total deposition (dry and wet deposition) of sulphur and nitrogen compounds at Norwegian background sites, 2000.

2.5 Bakkenært ozon

Antall episodedøgn for bakkenært ozon var lavt i 2000 sammenlignet med den forutgående tiårsperioden 1990-1999. Med episodedøgn menes døgn med maksimal timemiddelverdi på minst $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på ett sted eller minst $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på flere steder.

Maksimalverdiene av ozon var imidlertid høyere i 2000 enn på flere år. Høyeste timemiddelverdi var $172 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Prestebakke, 20. juni). Det har ikke vært målt høyere ozonkonsentrasjoner siden 1994 her i landet. SFTs grenseverdi for melding til befolkningen ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ble overskredet i to uavhengige episoder i 2000 (16.-17. mai og 20. juni). Under mai-episoden var det overskridelser på mange stasjoner i Sør-Norge, mens i juni-episoden var det overskridelser bare på Prestebakke. Omfanget av ozonepisoder er sterkt knyttet til værforholdene (transportretning, skydekke, stråling, osv), og de høye konsentrasjonene i 2000 kan derfor skyldes forhold som var særlig gunstige for transport av ozonrik luft til Norge.

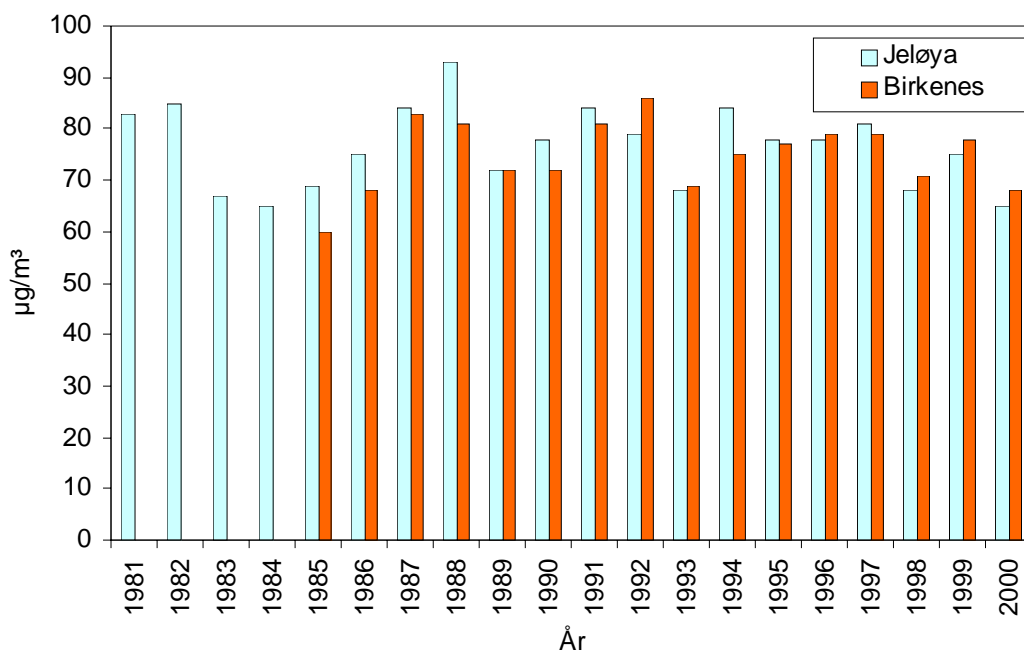
Av de øvrige grenseverdiene for helse var det overskridelser på nesten alle målestedene både for SFTs grenseverdi på $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (timemiddel), SFTs grenseverdi på $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8-timers middel), EUs grenseverdi på $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8-timers middel) og WHO's grenseverdi på $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8-timers middel). Disse verdiene overskrides på et stort antall stasjoner hvert år, og ozonverdiene var ikke spesielt høye i 2000 sammenlignet med tidligere år. Generelt var antall overskridelser mye lavere i 2000 enn i 1999 men sammenlignbart med antallet i 1998. Dette

illustrerer at terskelverdiene er nær den storskala bakgrunnskonsentrasjonen i Nord-Europa, og små endringer i forhold til denne kan dermed gi store utslag i parametere som teller opp antall timer eller dager med overskridelser. **Tabell 1** viser maksimal timemiddelverdi og antall overskridelser av $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ på overvåkingsstasjonene i 2000.

Tabell 1. Antall timer (h) og døgn (d) med timemiddelverdier av ozon større enn 100 og 160 $\mu\text{g m}^{-3}$ i 2000 samt høyeste timemiddelverdi gjennom året.

Table 1. Number of hours (h) and days (d) with hourly mean values of ozone exceeding 100 and 160 $\mu\text{g m}^{-3}$ in 2000 and the year's highest hourly concentration.

Målested	Totalt antall		100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Høyeste timemiddelverdi	
	Timer	Døgn	h	d	h	d	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Dato
Prestebakke	8683	364	235	30	9	2	172	2000-06-20
Jeløya	8097	339	99	17			140	2000-05-16
Hurdal	8625	361	293	40	1	1	169	2000-05-16
Osen	8731	366	145	21			137	2000-05-16,17
Langesund	8753	366	113	24			152	2000-06-20
Klyve	8261	346	33	10			135	2000-06-21
Haukenes	4489	188	100	17			152	2000-06-20
Birkenes	8756	366	117	14			154	2000-06-20
Sandve	8410	354	187	26	1	1	163	2000-05-16
Voss	8763	366	187	32			142	2000-05-16
Kårvatn	8776	366	434	49	1	1	163	2000-05-17
Tustervatn	8757	366	289	30			138	2000-05-17
Karasjok	8725	366	34	8			122	2000-05-09
Zeppelinfjellet	7610	319					95	2000-05-18
Sum datoer		366		92		4		



Figur 7. Middelkonsentrasjon av ozon for 7 timer (kl. 09-16) i vekstsesongen (april-september) ved stasjonene Jeløya og Birkenes, 1981-2000.

Figure 7. Average daytime 7h concentrations of ozone (09-16) for the growing season (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) at Jeløya and Birkenes, 1981-2000.

Når det gjelder grenseverdiene for vegetasjon, ble SFTs grenseverdi for ozon på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (7-timers middel kl 09-16 gjennom april-september) overskredet på alle målestedene. **Figur 7** viser 7-timers middelveiden for Jeløya og Birkenes i perioden 1981-2000. Figuren viser at det er endel variasjon fra år til år og at det ikke er noen markert endring i denne parameteren over perioden. ECEs tålegrense for skog på 10.000 ppb-timer som akkumulert eksponering over $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AOT40) ble ikke overskredet på noen av målestasjonene i 2000. Tålegrensen for akkumulert ozoneksponering av landbruksvekster på 3000 ppb-timer ble heller ikke overskredet på noen av stasjonene i 2000.

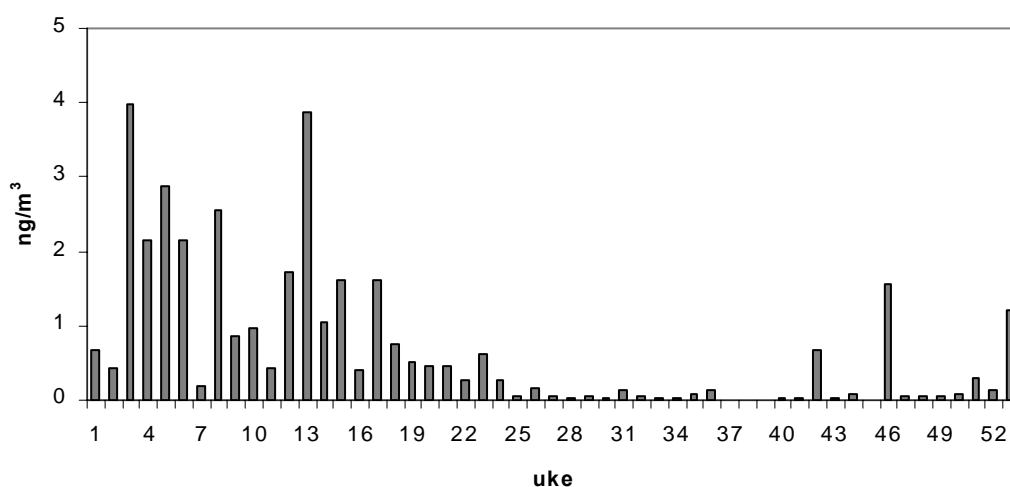
2.6 Sporelementer og organiske forbindelser

AMAP, Arctic Monitoring and Assessment Programme, startet i 1994. I AMAP deltar: Norge, Sverige, Danmark, Island, Finland, Canada, USA og Russland. Programmet omfatter både kartlegging, overvåking og utredning av miljøgiftbelastningen i nordområdet.

CAMP, Comprehensive Atmospheric Monitoring Programme er en av aktivitetene innen Oslo og Paris Kommisjonens (OSPAR) studier av transport av landbasert forurening til havområdene i tilknytning til OSPAR-landene. Det er 17 forureningskomponenter i måleprogrammet under CAMP og målingene utføres ved 28 stasjoner i 10 OSPAR-land.

Konsentrasjoner av tungmetaller i luft er målt på Lista siden 1991. Konsentrasjonene viser ingen spesiell trend i løpet av denne perioden i motsetning til hva som er observert i nedbør (**Figur 4**). Men for nedbør har vi lengre måleserier fra en rekke stasjoner, og de største reduksjonene i konsentrasjoner av tungmetaller var på 1980-tallet.

Ved Ny-Ålesund er nivået for Cr, V og Ni i luft ca 10% av det som måles ved Lista for 2000. Pb 30%, mens Cd og Cu er 50% lavere. Omtrent samme konsentrasjoner av Hg måles på de to stasjonene. De fleste elementene har høyest konsentrasjon om vinteren og lavest konsentrasjon om sommeren (**Figur 8**) som også observert for PAH. Dette skyldes trolig at betingelsene for langtransport med luft fra kontinentet er gunstigst om vinteren. Ingen av tungmetallene viser foreløpig noen trend for 4-års perioden det er utført målinger.



Figur 8. Ukentlig luftkonsentrasjon av Pb i Ny-Ålesund i 2000.

Figure 8. Weekly measurements of Pb in Ny-Ålesund in 2000.

NILU utfører målinger av α - og γ -heksaklorsykloheksan (HCH) og heksaklorbenzen (HCB) i prøver fra luft og nedbør, innsamlet ukentlig ved Lista.

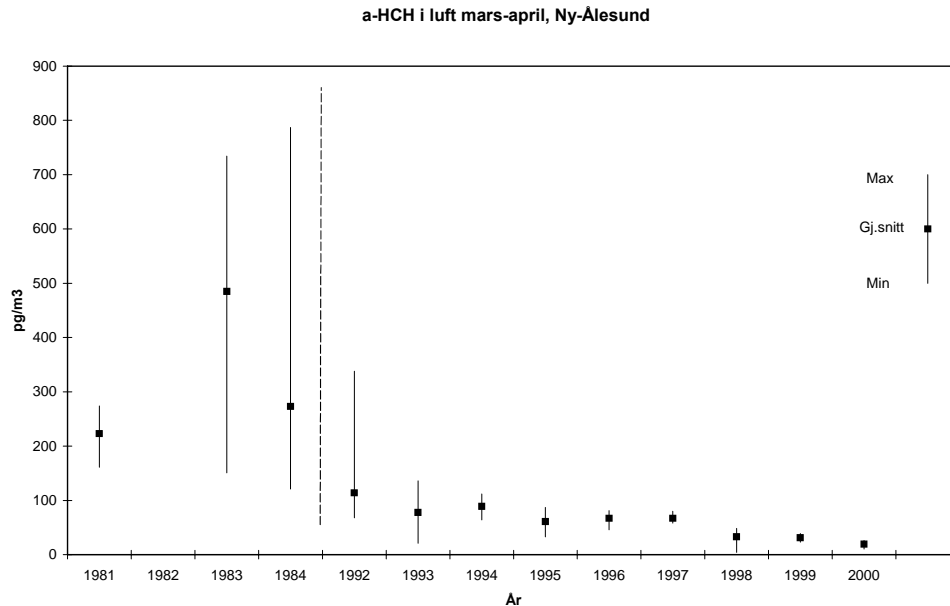
I perioden april-juni observeres hvert år en økning av nivået til γ -HCH. Dette skyldes bruk av pesticidet Lindan som består av minst 99 % γ -HCH. Konsentrasjonen av α -HCH og HCB viser ingen sesongvariasjon.

Konsentrasjonen av sum α - og γ -HCH på Lista er generelt ca. 1,5 ganger høyere enn den konsentrasjonen som måles i Ny-Ålesund.

NILU utfører målinger av tungmetaller, heksaklorsykloheksaner (HCH), heksaklorbenzen (HCB), klordaner, DDT med metabolitter, polyklorerte bifenyler (PCB) og polyaromatiske hydrokarboner (PAH) i luftprøver, innsamlet ukentlig i den nye målestasjonen på Zeppelinfjell ved Ny-Ålesund.

Med unntak av gruppen klordaner, ble det observert lavere årsmidler for alle komponenter i år 2000 enn i 1999. Klordaner økte med 23 % i forhold til i fjor, men nivået er lavt.

Det er observert en nedgang i konsentrasjonen av α -HCH i luft i Ny-Ålesund siden begynnelsen av 80-årene (**Figur 9**), som gjenspeiler redusert bruk av teknisk blanding av dette sprøytemiddelet.



Figur 9. α -HCH i luft i perioden mars-april i Ny-Ålesund, Spitsbergen.

Figure 9. α -HCH in air in the period March-April in Ny-Ålesund, Spitsbergen.

Referanser

EMEP (2000) Transboundary Acid Deposition in Europe. EMEP Summary Report 2000. Ed. by L. Tarrasón and J. Schaug. Oslo, Norwegian Meteorological Institute (EMEP/CCC and MSC-W Report 1/2000).

3. Det akvatiske miljøet

Overvåking av det akvatiske miljøet dekkes i sin helhet gjennom programmet "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør".

I overvåkingsprogrammet for effekter i vann er Norge delt inn i 10 regioner. Inndelingen er basert på en relativt lik forsuringsbelastning innen hver region, samt biogeografiske og meteorologiske forhold. Hovedhensikten med inndelingen er å kunne vise utviklingen av forsureningssituasjonen i ulike deler av Norge. De 10 regionene er vist i **Figur 10**, og er som følger:

- I. Østlandet - Nord.
- II. Østlandet - Sør.
- III. Fjellregion - Sør-Norge.
- IV. Sørlandet - Øst.
- V. Sørlandet - Vest.
- VI. Vestlandet - Sør.
- VII. Vestlandet - Nord.
- VIII. Midt-Norge
- IX. Nord-Norge.
- X. Øst-Finnmark.



Figur 10. Oppdeling av Norge i 10 regioner basert på forureningsbelastning (S- og N-deposisjon), meteorologi, og biogeografi. Tallene refererer til biologiske overvåkingslokaliteter i 2000.

Figure 10. Regional division of Norway based on extent of acidification, meteorology, and biogeography. The numbers refers to biological monitoring locations in 2000.

Vannkjemisk overvåking

De kjemiske forholdene i vann og vassdrag overvåkes ved måling av kjemiske hovedkomponenter i vann. Programmet omfatter undersøkelser i elver, innsjøer og feltforskningsområder (**Figur 11**). Målet for overvåkingen er å registrere konsentrasjonsnivåer og eventuelle kjemiske endringer som et direkte resultat av endringer i tilførselen av langtransporterte forurensninger.

De årlige regionale innsjøundersøkelsene gir informasjon om den generelle regionale vannkjemiske utviklingen i innsjøer i hele Norge. Ca. 100 innsjøer fordelt over hele landet er prøvetatt årlig siden 1986. I 1995 ble antallet økt til ca. 200 for å styrke innsjøovervåkingen.

Elveundersøkelsene er i hovedsak konsentrert om lakseførende elver. I 1980 ble det valgt ut 20 elver som egnede overvåkingsobjekter, og 16 av disse overvåkes fremdeles. I nedbørfeltet for åtte av elvene foregår det i dag kalkingsaktiviteter. Disse elvene blir overvåket på samme måte som tidligere for å se på endringene i sulfat og nitrat (som ikke blir påvirket av kalking), og virkningene av kalkingen.

Hensikten med overvåkingen i feltforskningsområdene er å registrere endringer i kjemisk sammensetning i avrenningsvannet i små nedbørfelt med forskjellig atmosfærisk tilførsel, geologi og vegetasjon og beregne materialbalanse for de enkelte kjemiske komponenter. I syv små nedbørfelt blir det tatt ukentlige vannprøver og nedbørprøver (NILU) samt daglig målt vannføring.

Biologisk overvåking

Det biologiske overvåkingsprogrammet omfatter:

- Bunndyr i innsjøer og elver
- Planktoniske og litorale krepsdyr i innsjøer
- Fiskebestander i innsjøer og elver

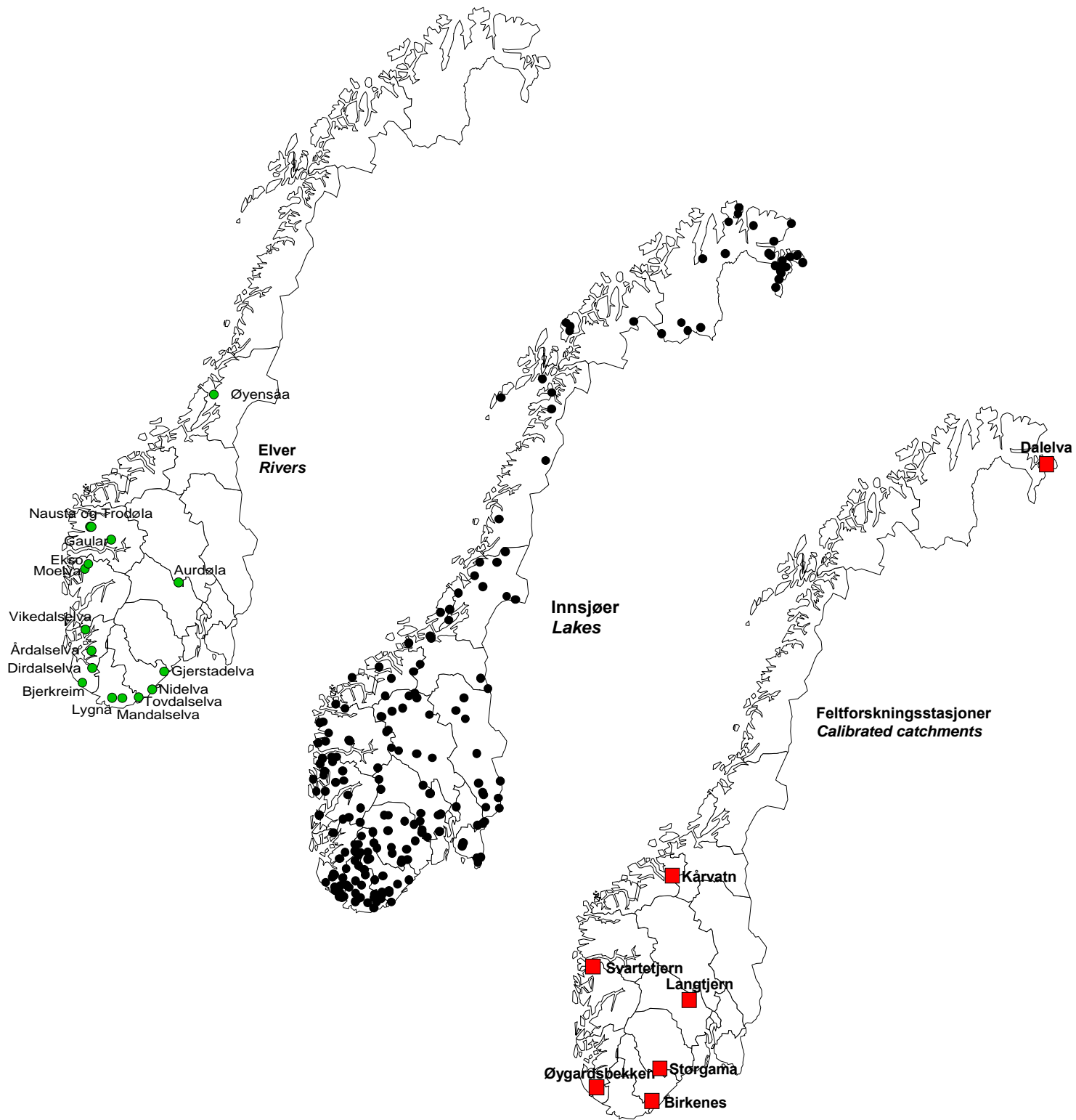
Innsjøprogrammet omfatter totalt 100 innsjøer, hvorav 10 lokaliteter undersøkes hvert år mht. både bunndyr, krepsdyr og eventuelt fisk der dette finnes (Gruppe 1-sjøer), 10 lokaliteter undersøkes hvert år mht. bunndyr og krepsdyr (Gruppe 2-sjøer), mens de øvrige 80 sjøene undersøkes hvert 4. år; ca. 20 innsjøer per år (Gruppe 3-sjøer). Totalt inngikk 40 innsjøer i det biologiske overvåkingsprogrammet i 2000 (**Figur 10**). Hovedvekt ble lagt på region III (Fjellregionen – Sør-Norge), VI (Vestlandet – Sør) og X (Øst-Finnmark) i tillegg til årlige innsjøer fordelt på de øvrige syv regionene. Innsjøovervåkingen har pågått siden 1996 og for en del av innsjøene foreligger det data på bunndyr og krepsdyr fra alle fem årene. For de fleste innsjøene er datagrunnlaget fremdeles relativt tynt og betydningen av den biologiske overvåkingen, for vurdering av forsureingssituasjonen, vil å øke etter som mer data legges til grunn. Det gjennomføres også bunndyrundersøkelser i seks vassdrag fordelt på regionene V – VII hvorav tre av vassdragene også undersøkes mht. fiskebestander.

For bunndyr, krepsdyr og fisk er det gjort en vurdering av tilstand mht. forsurening/forsuringsskader. Forsuringstilstanden er inndelt i følgende klasser: ubetydelig/lite (klasse 1), moderat (klasse 2), markert (klasse 3), sterkt (klasse 4), meget sterkt (klasse 5) forsuret/forsuringsskadet. For å kunne gjøre en vurdering av forsureningstilstanden er kunnskap om naturgitte kjemiske og biologiske forhold (naturtilstand) nødvendig. Slike kunnskaper er i mange tilfeller mangelfulle og vår klassifisering vil derfor kun i begrenset grad kunne skille

mellom naturlig sure og forsurede lokaliteter. For å kunne gjøre en vurdering av forsurede lokaliteter (biologi) må man i tillegg kjenne til og ta høyde for eventuelt andre skadeårsaker (reguleringer, overfiske, andre forurensninger med mer). Andre skadeårsaker enn forsuring er forsøkt begrenset gjennom utvalget av overvåkingslokaliteter. Det arbeides kontinuerlig med å forbedre grunnlaget for vurdering av forsuringstilstanden i Norge.

For bunndyr bestemmes forsuringssstatus ut fra den registrerte bunndyrs sammensetningen. Basert på forekomst/fravær av forsuringssfølsomme arter beregnes en forsuringssindeks (verdi: 0-1) for hver lokalitet. Når det gjelder krepsdyrene er det en total vurdering av samfunnene, basert på artsinventar, artsrikdom og mengdefordelinger (dominansforhold) som ligger til grunn for å klassifisere lokalitetene. Den totale invertebratfaunaen (bunndyr og krepsdyr samlet) gir i mange tilfeller et bedre grunnlag for å vurdere forsuringsskadene enn en vurdering basert på bunndyrene eller krepsdyrene alene. Det arbeides med en slik samlet vurdering. Mulige responsforskjeller mellom krepsdyrene og bunndyrene vil imidlertid kunne bli kamuflert. Tilstanden for ulike fiskebestander blir vurdert ut fra fangstutbyttet på oversiktsgarn (0-3 og 3-6 m dyp). En fangstindeks (verdi: 0-1) beregnes ved å sammenligne fangstutbyttet i lokaliteten med forventet fangstutbytte (2 x gjennomsnittet for landet). Det er ikke tatt hensyn til mulige regionvise forskjeller i naturtilstanden mht. fisketetthet da slik kunnskap foreløpig er mangelfull.

Eventuelle forsuringsskader vil være avhengig av en kombinasjon av ulike kjemiske, fysiske og biologiske forhold. Den kjemiske overvåkingen kan derfor kun gi indikasjoner om biologiske skader. En tidsforskyvning mellom kjemisk restituerende og biologisk restituerende i tidligere forsurede lokaliteter må dessuten forventes. Den biologiske overvåkingen gir informasjon om korttidseffekter og akkumulerte effekter av forsuring på vannlevende organismer, og er dessuten nødvendig for å kunne evaluere effekten av forsuringssreduserende tiltak.



Figur 11. Lokalteter som inngår i det vannkjemiske overvåkingsprogrammet i 2000.
Figure 11. Locations in the surface water monitoring programme 2000.

3.1 Effekter på vannkjemi

Reduserte tilførsler av svovel gjennom luft og nedbør har hatt en markert innvirkning på konsentrasjonene av ikke-marin sulfat i vann og vassdrag (**Tabell 2**). Nedgangen i sulfat varierer fra 23% for innsjøer i region X Øst-Finnmark til 51% for innsjøer i region VI Vestlandet-Sør, mens enkeltlokaliteter i Sør-Norge viser reduksjoner på opptil 60%. Det har ikke vært noen systematiske endringer i deposisjon av nitrat og ammonium siden målingene av disse komponentene startet i 1974. Det er heller ingen signifikant endring i nitrat i avrenningen fra 1980-1999, men vi ser at de siste 2-3 årene viser lavere nitratkonsentrasjoner i mange regioner. De høyeste konsentrasjonene av nitrat i avrenningen måles i de områdene av Norge der nitrogen deposisjonen er høyest.

Den markerte nedgangen i sulfat har hatt en tydelig innvirkning på vannkjemien i alle lokalitetene innen overvåkingsprogrammet. Trender for perioden fra 1986 til 2000 for de ulike regionene er framstilt i **Figur 12**. Hvert punkt på kurvene representerer gjennomsnitt av et antall innsjøer (**Tabell 2**). Det er de samme lokalitetene som har inngått i programmet hvert år siden 1986.

Effekter av flommen på Sør- og Østlandet høsten 2000

Høsten 2000 ble Sør- og Østlandet rammet av flom i to omganger, først i midten av oktober og deretter i slutten av oktober og begynnelsen av november. I begge tilfeller var kraftig lavtrykksaktivitet fra sør og store nedbørmengder årsak til flommene. I begge tilfellene ble det også registrert 10-års flom eller mer flere steder. Vi opplevde med andre ord to 10-års flomhendelser med to ukers mellomrom.

I hovedsak var det Aust-Agder, Telemark, Buskerud, Vestfold, Østfold, Oslo og Akershus og de sørlige deler av Oppland, som ble berørt i den første flomperioden. Mens vannføringen i enkelte vassdrag kulminerte rundt middelflom, var det flere vassdrag som kulminerte ved vannføringer rundt det dobbelte av middelflom, som tilsvarte 30-50 års flommer i disse vassdragene. I den neste flomperioden ble Rogaland, Vest-Agder, Telemark, Buskerud, Vestfold, Østfold, Oslo og Akershus og de sørlige deler av Oppland og Hedmark berørt. Sørlandet ble hardere rammet denne gangen enn i midten av oktober, spesielt Rogaland og Vest-Agder. Lenger nord og øst var flommen mindre enn tidligere, på det største drøyt 10-års flommer enkelte steder.

Flommen medførte en betydelig effekt på forsuringssituasjonen i vannet. På feltforskningsstasjonene hvor vi har ukentlige vannprøver kan vi følge effekten av flommen i stor detalj. Mange kjemiske komponenter ble betydelig fortynnet og vi ser en kraftig nedgang i pH sammenlignet med hva som er typisk for årstiden. Samtidig ser vi ikke økning i labilt aluminium som vi ville ha forventet med nedgangen i pH. Årsaken til dette er at det var mye overflateavrenning, som betyr at nedbøren hadde lite kontakt med dypere jordlag, slik at avrenningsvannet ble veldig dominert av nedbørens vannkjemi. Noe som bl.a. medførte at basekationene kalsium og magnesium ble betydelig fortynnet og nådde rekordlave verdier.

De kalkede elvene i overvåkingsprogrammet klarte seg godt gjennom flommen fordi kalkdoserne stort sett var godt nok dimensjonert til å nøytralisere de store vannmengdene.

I de ukalkede referanseelvene i kalkingsovervåkingen ble det observert effekter i form av rekord-lave pH verdier for høstprøver under flomperioden, på samme måte som i feltorskningsstasjonene.

Innsjøene blir prøvetatt en gang om høsten etter at innsjøen har sirkulert. Vanligvis skjer dette når vannets overflatetemperatur har sunket til 6°C. Begrunnelsen for dette er at det er vist at en slik prøve er et godt uttrykk for årlig middelverdi av vannkjemien i innsjøen. Overvåking av vannkjemien i en innsjø ved bruk av en høstprøve kan derfor brukes til å beskrive den totale endringen i vannkjemien i innsjøen over tid. Problemet høsten 2000 var at det var vanskelig å vite når det var riktig å ta prøven, dette medførte at prøvene ikke ble tatt samlet i løpet av oktober som er det normale, men ble prøvetatt utover i november og desember. I tillegg fikk vi ikke prøvetatt en del (10 sjøer) av sjøene i høyfjellet som kun er tilgjengelig med fly på grunn av det unormalt dårlige været. De store vannmengdene førte også til at vannets oppholdstid i innsjøene ble svært mye kortere enn normalt. Disse forholdene til sammen medfører at resultatene av årets innsjøovervåking ikke representerer en naturlig langvarig endring av innsjøens vannkjemielementer, men er et uttrykk for den aktuelle og ekstreme situasjonen høsten 2000.

Østlandet – Nord (region I)

Regionen Østlandet-Nord strekker seg fra skogkledde områder i sør til mere trebare og alpine områder i nord. Forureningsbelastning er lav. Sjøene i denne regionen har vist en klar bedring i vannkvalitet mhp forsuring de siste årene. Gjennomsnittsverdien for pH var under 5.5 fram til 1994. Fra 1994 til 1999 har gjennomsnittlig pH variert fra 5.56 til 5.71. ANC, som er et mål på vannets syrenøttraliserende effekt, er relativt høye, men registreringene i 1998 og 1999 viser de høyeste verdiene så langt (1999: ANC 46 $\mu\text{ekv L}^{-1}$). Det samme gjelder for alkaliteten. Registreringene høsten 2000 viser en liten negativ endring for pH (5.46), ANC (39 $\mu\text{ekv L}^{-1}$) og alkalitet (14.7 $\mu\text{ekv L}^{-1}$) i forhold til 1999, men endringene er ikke dramatiske. Gjennomsnittsverdien av labilt Al var i perioden 1987-1990 mellom 16 og 21 $\mu\text{g L}^{-1}$, men har siden 1992 ligget under 7 $\mu\text{g L}^{-1}$, dette gjelder også for 2000. Nitrat viser ingen systematiske endringer i perioden. TOC har vist de høyeste konsentrasjonene så langt i overvåkingen de fire siste årene (1997 til 2000).

Østlandet – Sør (region II)

Region Østlandet-Sør er skogdekket og har det høyeste nivået av organisk karbon (TOC) av alle regionene. Flere av sjøene har TOC fra 15 til 20 mg C L^{-1} . I denne regionen finner vi også det høyeste sulfat-nivået. Dette skyldes en kombinasjon av høy belastning og relativt lite nedbør og lange oppholdstider. Innsjøene i denne regionen har vist en kraftig forbedring i forsuringssituasjonen gjennom overvåkingsperioden. Gjennomsnittsverdien for pH var under 5.0 fram til 1994 og fra 1994 til 1999 har pH variert fra 5.03 til 5.12. Høsten 2000 var pH nede i 4.88. ANC, er i denne regionene er relativt høye, men registreringene i 1998, 1999 og 2000 viser de høyeste verdiene så langt (2000: 28 $\mu\text{ekv L}^{-1}$). Innsjøene som representerer denne regionen hadde ikke alkalitet fram til 1990. Siden da har bikarbonatsystemet sakte bygget seg opp og alkaliteten er i 1999 på 10 $\mu\text{ekv L}^{-1}$. Høsten 2000 ble det igjen registrert veldig lav alkalitet, mest sannsynlig som en følge av flommen. Gjennomsnittsverdien av labilt Al (den formen som er antatt giftig for fisk) var i perioden fram til 1994 på > 100 $\mu\text{g L}^{-1}$, men har siden 1995 avtatt markert og labilt Al i perioden 1998-2000 har vært 62-64 $\mu\text{g L}^{-1}$. Det er ingen markert trend i nitrat, men gjennomsnittet for de fire siste årene (< 58 $\mu\text{g N L}^{-1}$) er

lavere enn alle de foregående årene. De høyeste TOC konsentrasjonene er registrert de tre siste årene med gjennomsnittsverdier $> 9 \text{ mg C L}^{-1}$.

Tabell 2. Endring i ikke-marin sulfat pr.år i $\mu\text{ekv L}^{-1}$ for perioden 1980 til 2000 for elver og feltforskningsstasjoner, og for perioden 1986 til 2000 for innsjøene.

Table 2. Changes in non-marine sulphate per year in $\mu\text{eq L}^{-1}$ for the periode 1980 to 2000 for rivers and calibrated catchments and for the periode 1986 to 2000 for lakes.

Innsjøer

Region		Antall innsjøer	1986 SO ₄ * $\mu\text{ekv L}^{-1}$	2000 SO ₄ * $\mu\text{ekv L}^{-1}$	% endring fra 1986-1999
I.	Østlandet - Nord	2	43	30	31
II.	Østlandet - Sør	15	98	55	44
III.	Fjellregion - Sør-Norge	3	39	20	48
IV.	Sørlandet - Øst	13	74	44	40
V.	Sørlandet - Vest	10	63	35	45
VI.	Vestlandet - Sør	4	31	16	51
VII.	Vestlandet - Nord	4	19	11	42
VIII.	Midt-Norge	9	17	10	38
IX.	Nord-Norge	5	20	12	41
X.	Øst-Finnmark	11	73	56	23

Elver

	Region	1980 SO ₄ * $\mu\text{ekv L}^{-1}$	2000 SO ₄ * $\mu\text{ekv L}^{-1}$	% endring fra 1980-2000
Aurdøla	I	60	38	36
Gjerstadelva (kalket)	IV	112	62	45
Nideleva (kalket)	IV	81	45	44
Tovdalselva (kalket)	IV	86	43	50
Mandalselva (kalket)	IV	63	29	53
Lygna (kalket)	IV	73	38	49
Bjerkreimselva (kalket)	V	50	31	39
Dirdalselva	V	41	23	45
Årdalselva (kalket)	VI	34	20	40
Vikedalselva	VI	41	24	42
Nausta	VII	24	13	46
Trodøla /Nausta	VII	25	13	47
Ekso (kalket)	VII	33	16	52
Modalselva	VII	26	14	45
Eldalselva i Gaula	VII	26	14	48
Øyensåa	VIII	21	4	81

Feltforskningsstasjoner

Langtjern	II	74	34	52
Storgama	II	79	32	59
Birkenes	IV	137	66	53
Kårvatn	VIII	12	7	39

Fjellregion - Sør-Norge (region III)

Alle lokalitetene i fjellregionen i Sør-Norge ligger over tregrensa og regionen er dominert av fjellområder. Regionen er preget av skinn jord og lite vegetasjon. Dette reflekteres blant annet i lave nivåer av TOC i innsjøene ($< 1 \text{ mg C L}^{-1}$). Forurensningsbelastningen er relativt lav og sulfat-nivået i innsjøene er i dag på nivå med det en finner i de minst belastede regionene i Norge. Likevel finner vi også her en markert nedgang i sulfat med det laveste registrerte nivået i 2000. Innsjøene i denne regionen har generelt lavt innhold av basekationer ($\text{Ca} < 0.5 \text{ mg L}^{-1}$) og lav ANC ($5\text{--}10 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$). ANC har vist en jevn økning i hele perioden fra $2 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$ i 1986 til $24 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$ i 1999. ANC vil sannsynligvis aldri bli særlig høy i dette området p.g.a. det generelt ionefattige vannet. Nitrat ligger i gjennomsnitt på $60\text{--}70 \text{ } \mu\text{g N L}^{-1}$, uten noen klar trend. Også i denne regionen er konsentrasjonen av nitrat for 1998-2000 noe lavere enn tidligere år.

Sørlandet - Øst (region IV)

Regionen Sørlandet-Øst strekker seg fra kysten, gjennom skogbeltet til heiområdene. Forurensningsbelastningen er høy og sulfatnivået i innsjøene denne regionen er høye. Det er bare region II som har høyere sulfatnivå. Nedgangen i sulfat i innsjøene i denne regionen har vært stor og nivået i 2000 er det laveste som er registrert så langt. Regionen må karakteriseres som sterkt forsuret, men det er klare tegn til bedring. Gjennomsnittlig pH har ligget under 5 fram til 1996. De tre siste årene har gjennomsnittlig pH variert fra 5.12 til 5.15. Høsten 2000 falt pH til 4.88 som en følge av effekter av flommen. ANC har vært sterkt negativ med konsentrasjoner $< -20 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$ fram til 1994. I 1998, 1999 og 2000 har nivået vært > 0 . Tilsvarende gjelder for alkaliteten som fram til 1993 var $0 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$. Fra 1994 til 1999 har den gjennomsnittlige alkaliteten økt gradvis til $3 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$. Høsten 2000 var igjen alkaliteten 0. Det er ingen tydelige trender i nitrat, men konsentrasjonene fra 1997 til 1999 er lavere enn fra 1986 til 1996 og gjennomsnittsverdien for 2000 ($91 \text{ } \mu\text{g N L}^{-1}$) er den laveste som er registrert så langt. Samtidig viser TOC en sakte gradvis økning siden 1990.

Sørlandet - Vest (region V)

Regionen Sørlandet-Vest er dominert av heiområder med lite jordsmonn og lite vegetasjon. Denne regionen har den høyeste forurensningsbelastningen, det er også i denne regionen vi finner de mest forsurede innsjøene med det laveste gjennomsnittlige pH-nivået (pH 4.78 i 2000) og det laveste gjennomsnittlige ANC-nivået (ANC $-19 \text{ } \mu\text{ekv L}^{-1}$) og de høyeste verdiene av labilt Al ($99 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$). Denne regionen har også den høyeste gjennomsnittlige nitrat-konsentrasjonen ($241 \text{ } \mu\text{g N L}^{-1}$) som en konsekvens av høy N-deposisjon. Regionen må karakteriseres som betydelig forsuret, men situasjonen er i ferd med å bedres. På samme måte som i de andre regionene ser vi en kraftig nedgang i SO_4^* (45%) fra 1986 til 2000, en økning i pH og ANC og nedgang i labilt Al. Nitrat viser ingen tydelig trend, men også i denne regionen finner vi de laveste nitrat-nivåene i de siste årene fra 1997 til 2000, samtidig som vi finner høyere TOC i disse årene enn tidligere.

Vestlandet - Sør (region VI)

Regionen Vestlandet-Sør er preget av lite skog og mye åpne heiområder med til dels lite vegetasjon og skrint jordsmonn. Forurensningsbelastningen er moderat. Nedbørmengdene er store ($1500\text{--}3000 \text{ mm}$) og dette medfører fortynning av overflatevannet slik at ionestyrken er lav, med lave konsentrasjoner av basekationer (gjennomsnittlig $\text{Ca } 0.4 \text{ mg L}^{-1}$) og TOC (1 mg C L^{-1}). Sulfat-nivået i innsjøene i regionen er lavt og innsjøene er moderat forsuret (2000: pH 5.42). Denne regionen viste for første gang i 1998 en gjennomsnittlig positiv ANC. I 2000 var

ANC $+7 \mu\text{ekv L}^{-1}$. Konsentrasjonen av sulfat i 1999 og 2000 er det laveste som er registrert så langt, og det er bare små endringer fra 1999 til 2000. Siden 1996 har pH vært > 5.35 . Nitratnivået er relativt høyt (gjennomsnittlig $115 \mu\text{g N L}^{-1}$ i 2000 som er det samme som i 1986) av samme grunn som i region Vestlandet-Sør (høy N-deposisjon og lite kapasitet for retensjon). Det er ingen trender i nitrat eller TOC.

Vestlandet - Nord (region VII)

Region Vestlandet-Nord har mange likhetstrekk med Vestlandet-Sør, men forurensningsbelastningen er lavere og nedbørmengdene større. Dette medfører at ionestyrken i innsjøene i denne regionen er den laveste av alle regionene (gjennomsnittlig $\text{Ca } 0.3 \text{ mg L}^{-1}$). Felles for begge Vestlandsregionene er at på tross av en markert nedgang i sulfat gjennom overvåkingsperioden, ser vi ikke den samme markerte endringen i forsuringsparametere som i de andre regionene. I region Vestlandet Nord, har ANC økt fra ca -10 til $3 \mu\text{ekv L}^{-1}$, mens pH har økt fra 5.1 til 5.4 og labilt Al avtatt fra ca 30 til $20 \mu\text{g L}^{-1}$ i løpet av de siste 10 årene.

Midt-Norge (region VIII) og Nord-Norge (region IX)

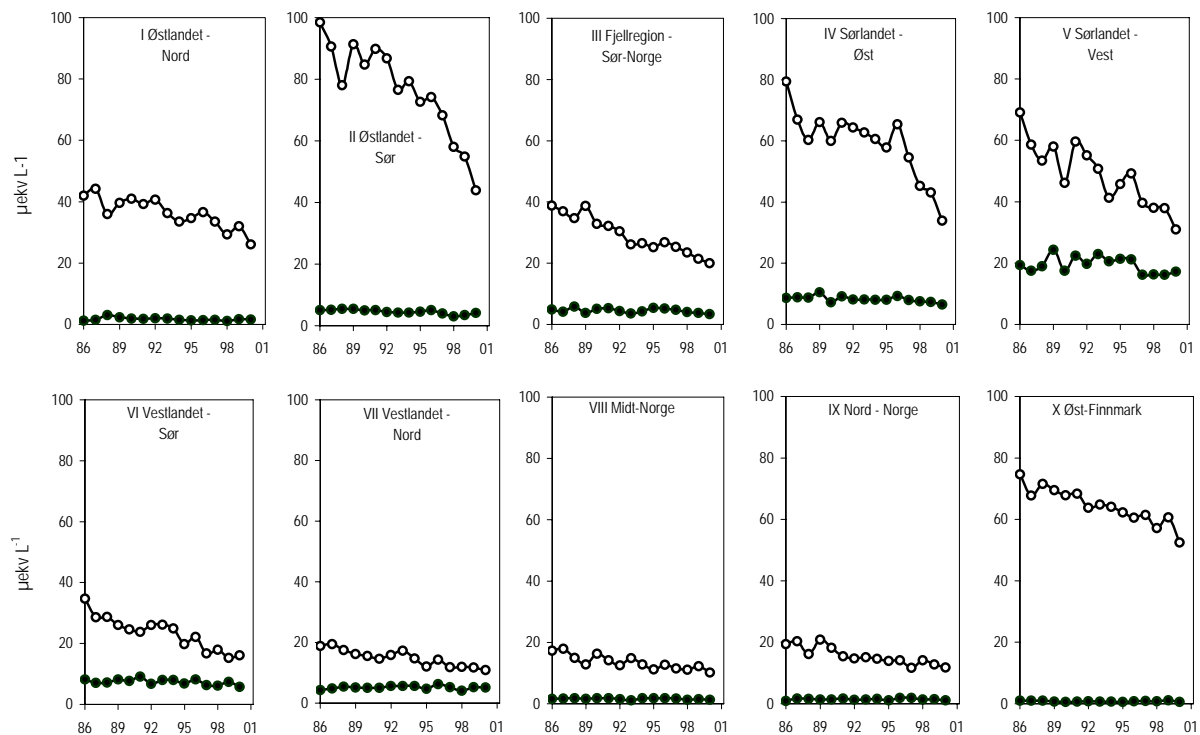
Disse to regionene spenner over store områder med svært variert natur fra vegetasjonsfattig kystlandskap til høyfjell og skogkledte innlandsområder. Forurensningsbelastningen er lav i hele området. Sulfat-nivået i innsjøene i disse regionene er nå $10\text{--}12 \mu\text{ekv L}^{-1}$ og er det laveste av alle regionene. Dette begynner å nærme seg naturlig bakgrunnsnivå for ikke-marin sulfat. Innsjøene som representerer disse regionene må likevel karakteriseres som svakt sure. Alkaliteten er lav ($10\text{--}20 \mu\text{ekv L}^{-1}$) og pH er ca 6. Selv i disse regionene med svært lav forurensningsbelastning ser vi en nedgang i sulfat og tendenser til økning i alkalitet, ANC og pH.

Øst-Finnmark (region X)

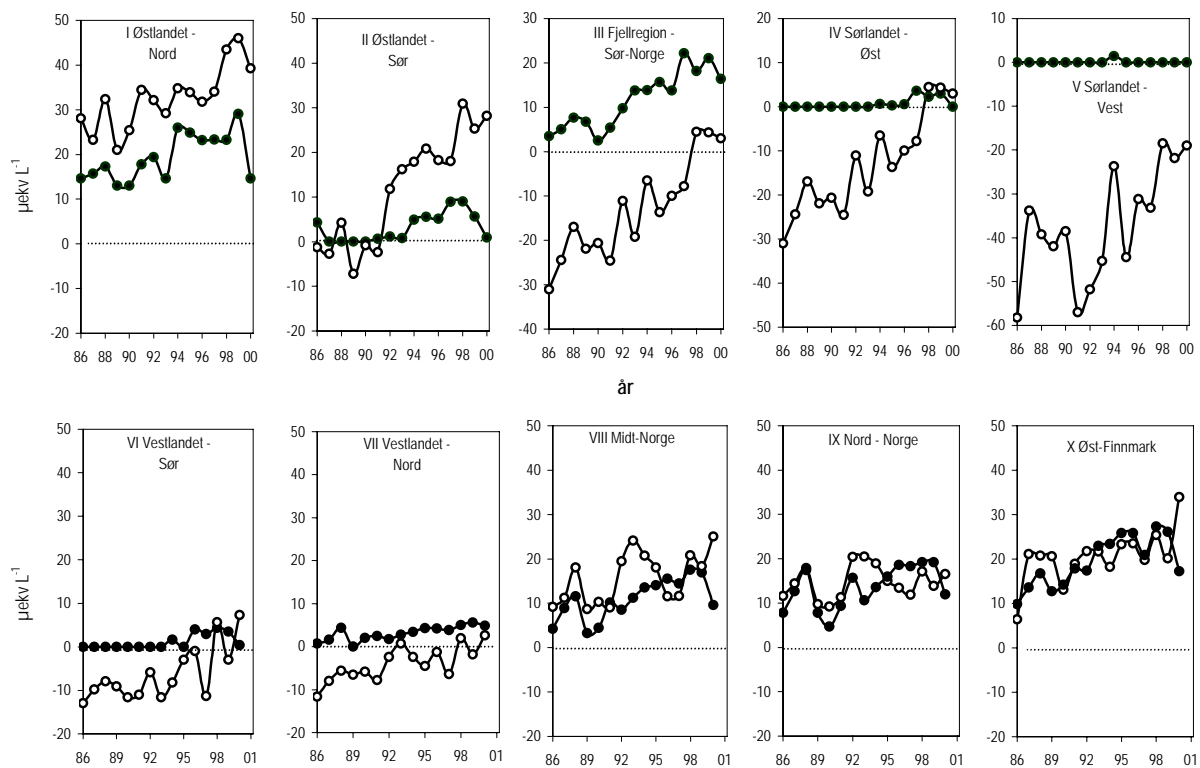
Region Øst-Finnmark dekker områdene inn mot Kola-halvøya og er påvirket av smelteverksindustrien som gir utslipp av svovel, kobber og nikkel. Forurensningsbelastningen av svovel er relativt stor, mens N-deposisjonen er lav. Forurensningsbelastningen i dette området er mye mere variabel fra år til år enn i Sør-Norge, noe som reflekteres i de vannkjemiske trendene gjennom overvåkingen fra 1986 til 1999.

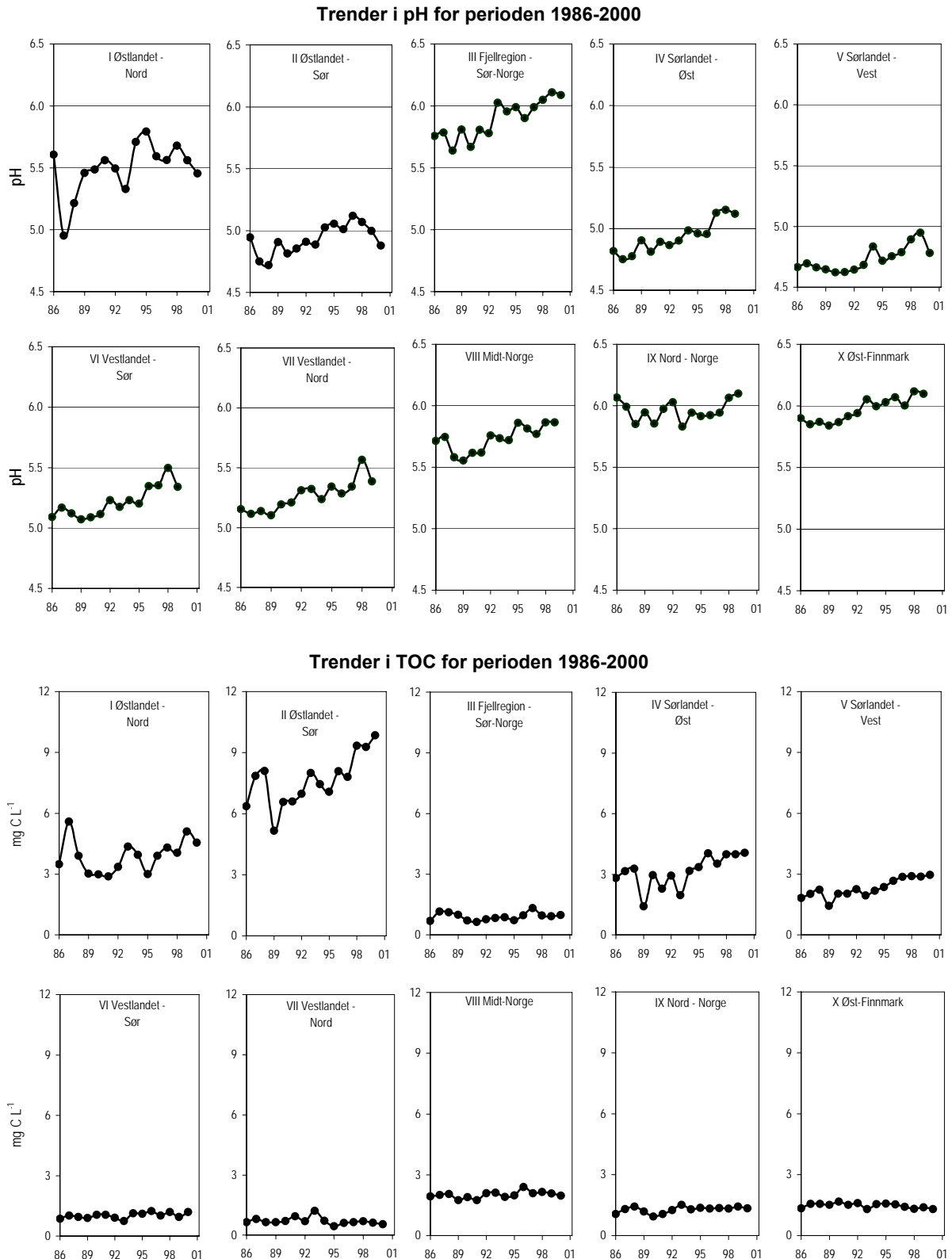
Undersøkelser i 1986 viste at for innsjøene i Øst-Finnmark var konsentrasjonene av sulfat i innsjøene mer enn fordoblet siden 1966 og var på samme nivå som de mest utsatte innsjøene på Sørlandet. Selv større innsjøer hadde lite igjen av sin opprinnelige motstandskraft mot forsurening. Undersøkelser i 1987-1989 viste at store områder i Sør-Varanger ville få omfattende skader og tap av fiskebestander hvis belastningen med sur nedbør fra smelteverkene på Kola-halvøya økte ytterligere. Innsjøovervåkingen frem til 1991 tydet på at forsuringsutviklingen hadde stoppet opp og stabilisert seg på 1986-nivået. I 1992 var pH-verdiene gjennomgående høyere enn tidligere i de mest forsuringsfølsomme og forurensningsbelastede innsjøene og siden 1993 har gjennomsnittlig pH for disse sjøene vært > 6 . Sulfat har vist en jevn nedgang, og i 2000 er gjennomsnittsverdien den laveste som er registrert så langt.

Trender i ikke-marin sulfat (●) og nitrat (○) for perioden 1986-2000



Trender i alkalitet (●) og ANC (○) for perioden 1986-2000





Figur 12. Trender i vannkjemi for de 10 regionene.

Figure 12. Trends in water chemistry for lakes in the 10 regions.

3.2 Effekter på bunndyr

Regionale bunndyrundersøkelser i vassdrag

Lokalitetene ved Farsund, region V, var sterkt forsureningsskadd i perioden 1981 – 1993. I de senere år har skadene på bunndyrfaunaen avtatt, men området må fortsatt karakteriseres betydelig skadet. Undersøkelsene ved Farsund i 2000 viste en forbedret situasjon med hensyn til skadeomfang og diversitet av forsureningssensitive bunndyrarter (**Figur 13**). Den meget følsomme døgnfluen *Baetis rhodani* som er sporadisk registrert i de senere år ble ikke funnet i 2000. Flere moderat sensitive arter har imidlertid etablert mer stabile populasjoner. Regresjonsanalyser viser at det har vært en signifikant øking av forsureningsindeksen i Farsundområdet fra 1989.

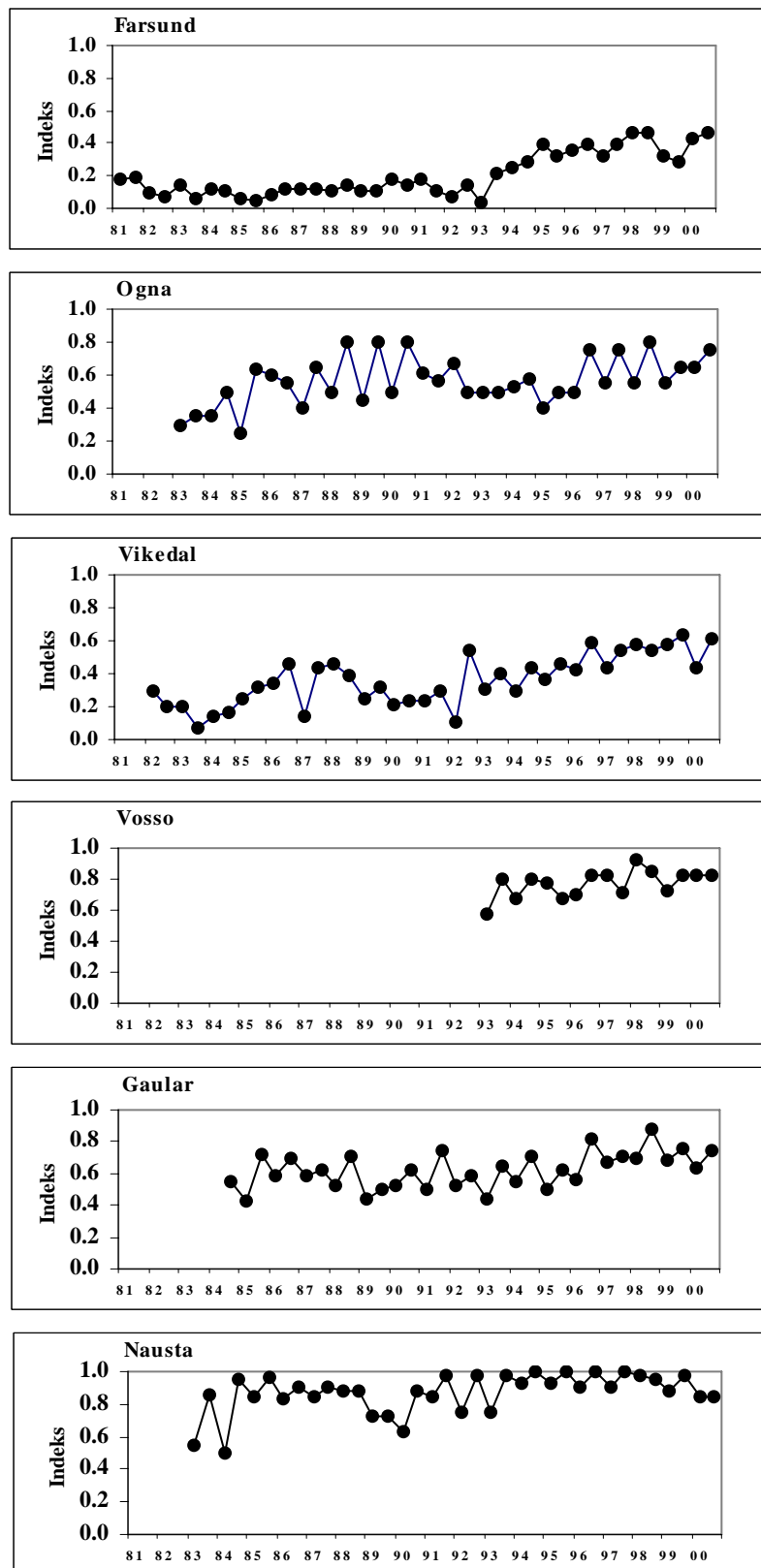
I Ognavassdraget, region V, ble det opprettet et nytt stasjonsnett for overvåking i 1991, da en del av det opprinnelige stasjonsnettet ble kalket. Undersøkelsene i 2000 viste en forbedring med hensyn på skadesituasjonen for bunndyrfaunaen sammenlignet med foregående år (**Figur 13**). Vassdraget som helhet kan karakteriseres moderat forsureningsskadet. De ukalkete delene av Ogn er svært heterogene med hensyn til forsurening. Deler av vassdraget, spesielt den østlige delen av nedslagsfeltet, har en stabilt god vannkvalitet, mens mange av tilløpene fra vest er sure.

Bunndyrundersøkelsene i de ukalkede delene av Vikedalsvassdraget, region VI, viste at vassdraget var moderat forsureningsskadet. Skadene på bunndyrfaunaen var større enn foregående år, spesielt om våren. Vassdraget viser en positiv trend etter 1990, da bunndyrfaunaen ble karakterisert sterkt skadet (**Figur 13**). I Vikedal finnes refuger med god vannkvalitet og med en rik bunndyrfauna. Disse lokalitetene inneholder forsureningssensitive bunndyr og har stor betydning som kilder for rekolonisering etter sure episoder.

Vossovassdraget, region VII, blir fra og med 1997 rapportert i overvåkingsprogrammet. Dette vassdraget erstatter Rødneelven, som er blitt kalket. Vossovassdraget er kalket i den nedre delen, og stasjonsnettet i overvåkingsprogrammet omfatter 15 stasjoner i den ukalkede delen av vassdraget. Her er det tatt bunnprøver vår og høst fra 1993. I Vosso viste prøvetakingen i 2000 en uendret situasjon sammenlignet med de foregående år (**Figur 13**). De største skadene finnes i øvre del av Raundalselva, som må betegnes moderat til sterkt skadet.

Gaularvassdraget, region VII, har fortsatt tydelige forsureningsskader i deler av nedbørfeltet. I 2000 var skadene på bunndyrsamfunnene omlag som foregående år (**Figur 13**). Av delfeltene var Eldalen fortsatt sterkest skadet, men også noen sideelver i Haukedalen og i vassdragets nedre deler bærer preg av skade. Hovedelva nedstrøms Viksdalsvatnet hadde et rikt bunndyrsamfunn, med gode innslag av forsureningssensitive arter. Dette viser at vannkvaliteten i de lakseførende deler av vassdraget er tilfredsstillende.

Forsuringen av Nausta, region VII, har, siden overvåkingen startet i 1983, vært den laveste blant de undersøkte vassdragene. I 2000 ble det registrert en svak forverring av skadesituasjonen (**Figur 13**). Dette var hovedsakelig forårsaket av økt skadeomfang i sidebekker i den øvre delen av vassdraget. Situasjonen i de nedre, lakseførende deler av vassdraget må karakteriseres tilfredsstillende.



Figur 13. Forsuringsindekser for overvåkingsvassdragene. For nærmere forklaring henvises til hovedrapporten.

Figure 13. Acidification score for invertebrates in the monitored rivers. The index is explained in the main report.

Regionale bunndyrundersøkelser i innsjøer

Østlandet – Nord (region I)

I region I ble Atnsjøen og Stortjørna undersøkt. Atnsjøen hadde 13 sensitive taksa hvorav 11 var insektarter. Dette er et høyt antall hvor 50% av døgnfluene, steinfluene og vårfluene regnes som sensitive. Resultatet er på linje med tidligere års resultater. En har ingen forventninger om at arter mangler grunnet forsuring og faunaen i innsjøen vurderes derfor som lite - eller ikke skadet. I Stortjørna ble det og registrert *B. rhodani* og andre følsomme insekter, men forekomstene er lave sammenlignet med Atnsjøen. Dette kan skyldes at innsjøen er litt influert av forsuring og blir vurdert til en tilstandsklasse mellom 1 og 2. De andre innsjøene i regionen ble ikke undersøkt i 2000, men inngår i vurderingen av tilstanden i regionen. Samlet bedømmes regionen til å være moderat forsuringsskadet.

Østlandet – Sør (region II)

I region II ble Ø. Jerpetjern, Langvatn og Bredtjern undersøkt. Bunnfaunaen ble vurdert til moderat forsuringsskadet i Ø. Jerpetjern, mens tilstanden i Langvatn ble satt til markert/sterkt skadet. Bunnfaunaen i Bredtjern indikerte en sterk forsuringsskadet fauna. I Ø. Jerpetjern ble det registrert ett individ av sneglen *Gyraulus* sp. og *Siphonurus* sp. som indikerer moderat til markert forsuret. Siden forekomstene var svært lave vurderer vi tilstanden til markert skadet. Situasjonen i nevnte innsjøer er uendret fra tidligere år. Legger vi til grunn prøvene fra alle innsjøene samlet inn tidligere vil regionen få betegnelsen markert skadet.

Fjellregion - Sør-Norge (region III)

I region III ble det samlet innprøver fra 10 av innsjøene. Noen av innsjøene undersøkes årlig, dvs. Ronvatn og Heddersvatn, mens 8 av de andre innsjøene ble undersøkt i 1995. I Ronvatn forekom det 6 sensitive taksa av bunndyr, mens det i Heddersvatn ble funnet 3. For begge innsjøene er antallet det samme som i 1999, dvs. en uendret forsuringssstatus fra tidligere år. For Heddersvatn ble det bare funnet moderat sensitiv steinfluer, mens Ronvaten også inneholder meget sensitive døgnfluer. Prøvene som inneholder den følsomme faunaen var fra innløpsbekken. I utløpselven ble det funnet færre sensitive arter, mens det i littoralsonen bare var tolerante taksa. Tilstanden totalt for Ronvatn bedømmes derfor til ubetydelig/moderat forsuret. Tilstanden for Illemannstjern ble derimot vurdert som lite skadet. I sjøene som ble undersøkt i 1995 var utbredelsen av de mest følsomme artene noe større i 2000 enn i 1995 og indikerer en endring til det bedre. Den sydligste lokaliteten i regionen, Stavsvatn, har vist en markert forbedring i vannkjemien over de siste 10 år. Av sensitive taksa er det derimot bare småmuslinger som er vanlige i lokaliteten, dvs. liten endring i faunaen. Samlet for alle lokalitetene indikerer bunnfaunaen i år 2000 noe lavere forsuringsskade i fjellregionen enn i 1995. Faunaen viser generelt en moderat forsuringsskade, men enkeltlokaliteter kan få betegnelsen markert til sterkt forsuret.

Sørlandet - Øst (region IV)

I region IV ble Bjorvatn, Lille Hovvatn og Sognevatn undersøkt. I førstnevnte lokalitet ble det bare påvist taksa som er kjent for å være tolerante for surt vatn og indikerer derfor meget sterk forsuring. Faunaen i Lille Hovvatn ga en tilsvarende status for 2000, men vi kjenner til at småmuslinger finnes på et område i lokaliteten. Videre har det vært funnet en larve av den markerte forsuringsfølsomme slekten *Siphonurus* på nittitallet. Dette indikerer en begynnende bedring. I Sognevatn ble det funnet 5 følsomme taksa om høsten med *B. rhodani*, *Isoperla* sp. og *Hydropsyche* sp som de viktigste. Registreringene ble gjort i utløpet og

indikerer lav forsurening i perioden. Sammenlignet med tidligere undersøkelser viser resultatene at innsjøen trolig har stabilisert seg på et lite skadet nivå, men at det fortsatt kan forventes etablering av flere følsomme arter. De øvrige innsjøene i regionen er undersøkt tidligere under innsjøovervåkingen. Av disse var faunaen i Kleivsetvatn svakt til moderat skadet. De øvrige hadde en moderat til markert forsuret bunnfauna.

Sørlandet - Vest (region V)

I region V ble Saudlandsvatn, Ljosvatn og Lomstjørni undersøkt. I Saudlandsvatn ble det påvist moderat følsomme taksa. I Ljosvatn ble det ikke registrert følsomme bunndyr taksa. Dette indikerte sterk forsureningsskade. I Lomstjørni ble *B. rhodani* registrert både i innløp og utløp sammen med flere andre følsomme taksa. Tilstanden ble vurdert til liten skadet. De øvrige innsjøene har vært undersøkt tidligere under innsjøovervåkingen. Forholdene blant lokalitetene i regionen varierer betydelig fra meget sterkt forsureningsskadet til lite skadet. Også innen den enkeltlokaliteter har det vært store variasjoner noe som indikerer ustabile forhold. Tilstanden samlet for regionen vurderes til markert forsureningsskadet.

Vestlandet - Sør (region VI)

I region VI ble alle innsjøene undersøkt i år 2000. Av disse har utløpselva fra Røyrvatn og Flotvatn blitt undersøkt årlig siden 1982. Tilstanden i disse lokalitetene har vært sterk til markert forsuret. I Røyrvatn forekommer det moderat følsomme insekter i lave tettheter, mens det i Flotvatn ikke ble funnet følsomme arter i 2000. Tilstanden har siden starten av overvåkingen variert mellom meget sterk og markert forsureningsskade for begge lokaliteter. Det er ingen klar trend i tilstandsklassen for innsjøene. Risvatn hadde heller ingen forekomst av følsomme arter og ble vurdert til meget sterkt forsuret. Krokavatn og Røldalstjern oppnådde imidlertid tilstand lite skadet, mens resten av innsjøene ble vurdert til markert skadet. En totalvurdering av regionen tilsier at den har en markert skadet bunnfauna.

Vestlandet - Nord (region VII)

I region VII ble Markusdalsvatn, Nystølvatn og Svarttjern undersøkt. Disse lokalitetene er undersøkt årlig siden 1996. De øvrige 9 sjøene ble undersøkt i 1999. Tilstanden i Markusdalsvatn og Svarttjern har i hovedsak vært uendret i perioden. Nystølvatn har også hatt en stabil tilstand, men i 2000 sank denne fra markert til sterkt forsureningsskade. Innsjøen ligger i et område med marginal vannkjemi og har hatt tynne bestander av følsomme arter. Det knytter seg derfor usikkerhet til endringen i status siden tilfeldigheter under prøveinnsamlingen kan være av betydning i denne lokaliteten. I år 2000 fikk hele 5 innsjøer betegnelsen sterkt forsureningsskadet. To av innsjøene i regionen oppnådde betegnelsen lite skadet, mens en var moderat skadet og 4 markert skadet. Samlet sett vurderes regionen til å være markert skadet.

Midt-Norge (region VIII)

I region VIII er Svartdalsvatn og Ø. Neådalsvatn undersøkt. Førstnevnte ble første gang undersøkt i 2000, mens Ø. Neådalsvatn ble undersøkt SNSF-prosjektet og under diverse EU-prosjekt på nittitallet. Begge innsjøene blir vurdert som lite skadet. Tilstanden i Ø. Neådalsvatn har variert, men dette er vurdert å ha sammenheng med klimatiske variasjoner som tidlig/sen isløsning, snømengder og variasjoner i årlig nedbør. Vi har foreløpig prøver for få lokaliteter til å kunne vurdere regionen.

Nord-Norge (region IX)

I region IX ble Kapervatn undersøkt i 2000. Innsjøen hadde moderat følsomme insekter og blir vurdert som moderat/markert skadet. Tilstandsvurderingen er usikker siden vi bare har innsamling ved et tidspunkt. De andre innsjøene i regionen er undersøkt tidligere. Tre av innsjøen fikk betegnelsen lite skadet, mens en ble vurdert til moderat/markert skadet. Siden vi generelt har lite data fra denne regionen er tilstandsvurderingene usikre.

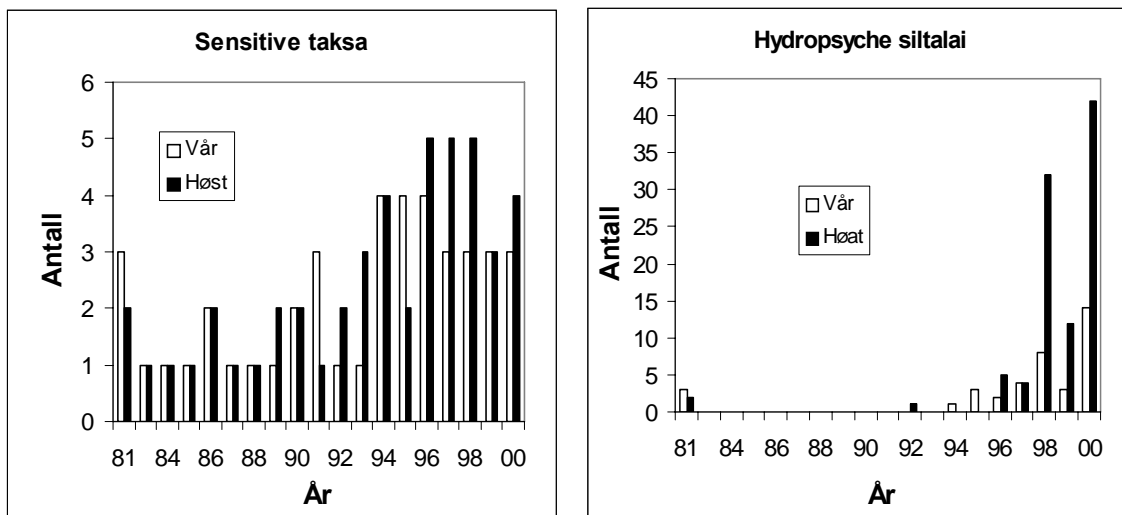
Øst-Finnmark (region X)

I region X ble det undersøkt seks lokaliteter. Fem av disse oppnådde tilstandsklassen lite forureningsskadet, men en innsjø, Oksvatn, fikk betegnelsen moderat skadet. Foreløpig har vi lite materiale fra Øst-Finnmark og vurderingen av tilstanden er derfor beheftet med usikkerhet. Dalvatn som har vært undersøkt i flere år viser en relativt stabil forekomst av følsomme arter. Forekomst eller fravær av disse har vært påvirket av variasjoner i nedbør og vannstandsforhold. Både innløpsbekk og utløp kan være nærmest tørrlagt i perioder med lite nedbør om høsten, noe som påvirker insektene tilstedeværelse. Samlet sett vurderes tilstanden i regionen som lite forureningsskadet.

Trender

Noen av innsjøene som inngår i innsjøovervåkingen har vært undersøkt tidligere. I region IV ble Risvatn undersøkt under SNSF-prosjektet i perioden 1977 til 1980 og skulle da representere en lite forurenet lokalitet. Faunasammensetningen den gang ville trolig gitt tilstandsklassen moderat forurenet (usikkerheten knytter seg til mindre omfattende artsbestemmelser under dette prosjektet). Typisk for innsjøen den gang var store mengder småmuslinger og enkelte moderat følsomme taksa som ga nevnte tilstand. I 1999 hadde innsjøen 5 følsomme taksa hvor døgnfluene indikerte liten forureningsskade, en forbedring på en tilstandsklasse. I den samme regionen ligger Lille Hovvatn som har vært undersøkt over 12 år (referanse til det kalkede Store Hovvatn). Innsjøen var meget sterkt forurenet under SNSF-prosjektet i 1977 til 1980. I de siste årene har det vært sporadisk forekomst av småmuslinger (begrenset til et lite område som sannsynligvis har innsig av grunnvann av litt bedre kvalitet) og døgnfluen *Siphonurus* sp. Sistnevnte taksa har blitt tallrik i S. Hovvatn etter kalking. At arten forsøker å etablere seg i L. Hovvatn og at larver fra tid til annen har eksistert i innsjøen i kortere perioder betegnes som en bedring gjennom de siste 20 årene.

I region V ligger Saudlandsvatn som har vært overvåket siden. Det har vært en klar endring av forureningsstatusen i området de siste 20 årene. Utviklingen av følsomme taksa for Saudlandsvatn og nærliggende området har økt fra lite følsomme småmuslinger (tidlig på åttitallet) til forekomst av flere moderat følsomme insekter på slutten av nittitallet (**Figur 14**). Vårfluen *H. siltalai* er et eksempel på utviklingen av en slik art og viser at rekoloniseringen kom i siste halvdel av nittitallet. Også *B. rhodani* har forekommet sporadisk i området i perioden 1995-1997, men forbedringen i forureningstilstanden har foreløpig ikke vært stor nok til permanent etablering av arten. Faunaen i Saudlandsvatn har derfor endret seg fra sterkt til markert forureningsskadet.



Figur 14. Forekomst av følsomme taksa (venstre) og *H. siltalai* (høyre) i Saudlandsvatn (Farsund) i perioden 1981-2000.

Figure 14. Incidence of sensitive taksa (left) and *H. siltalai* (right) in Saudlandsvatn (Farsund) in the periode 1981-2000.

I region VI har utløpselva fra Røyrvatn og Flotavatn inngått i overvåkingen siden 1982. Faunaen i elva fra Røyrvatn har indikert markert til sterk forurensning i mesteparten av perioden uten noen klar trend. Imidlertid ble det i september 2000 for første gang registrert *Daphnia* sp. i prøven fra utløpselva.. I elva fra Flotavatn var det sporadisk forekomst av moderat følsomme taksa i starten på overvåkingen. Disse ble helt borte fra lokaliteten i perioden 1989 til 1996. Deretter har de vært tilstede i alle år unntatt 1998. Nevnte registreringer kan tyde på en endring i positiv retning.

I region VII har vi overvåket utløpselva fra Ø. Botnatjønn og Markusdalsvatn siden 1991 og innløp og utløpselv fra Nystølvatn siden 1984. De to førstnevnte lokalitetene har vært meget sterkt forurensningsskadet i mesteparten av perioden. Et unntak er året 1999 da det i begge utløpselvene ble funnet moderat forurensningsfølsomme taksa. Disse var imidlertid borte fra prøvene i 2000. Slike år til år variasjoner indikerer ustabil vannkjemi, noe som er vanlig tidlig i en restaureringsfase.

For de andre regionene er det bare Ø. Neådalsvatn i region VIII som har en lengere prøveserie. Innsjøen ble undersøkt under SNSF-prosjektet hvor den representerte en uforsuret lokalitet med svært dårlig bufferkapasitet. Senere er innsjøen undersøkt på nittitallet under div. EU-prosjekt. Forekomstene av følsomme taksa har variert i mengde, men de har hele tiden gitt tilstandsklassen lite forurenet.

3.3 Effekter på krepsdyr

Totalt ble det i 2000 registrert 60 arter av planktoniske og litorale krepsdyr, hvorav 37 arter vannlopper (Cladocera) og 23 arter hoppekreps (Copepoda). De fleste av disse har en vid geografisk utbredelse og er tolerante mht. de fleste miljøforhold, inklusive forsurening. Eksempler på forsuringsfølsomme arter er *Daphnia galeata*, *D. longiremis*, *D. longispina*, *Eucyclops macrurus* og *E. speratus*. Arter innen slekten *Daphnia* spp. har en sentral funksjon som surhetsindikatorer, både for dagens innsjøer og i historisk sammenheng. Allerede ved pH 6,0 begynner artene å opptre med avtagende frekvens og de mangler med få unntak i lokaliteter med pH lavere enn 5,4.

Artsantallet for den enkelte lokalitet varierte mellom 7 og 32. Antall arter i en lokalitet er avhengig av vannkvaliteten, geografisk beliggenhet, klimaforhold og biologiske forhold for øvrig. Ser man alle lokalitetene under ett er det ingen god samvariasjon mellom pH, eller andre forsuringsrelaterte vannkjemiske parametre, og total artsrikdom. Lavest artsrikdom finnes imidlertid i sure lokaliteter og da spesielt i kombinasjon med ugunstige klimatiske forhold (kort vekstsesong og lave sommertemperaturer), og hvor innholdet av TOC er lavt. I de mest forsurende lokalitetene vil det være få forsurenssensitive arter (**Figur 15**). To av de mest vanlig forekommende krepsdyrartene, den cyclopoide hoppekrepsen *Cyclops scutifer* og den calanoide hoppekrepsen *Eudiaptomus gracilis*, har forskjellig toleranse for forsurening, der førstnevnte art er mest følsom. Mest tolerant er imidlertid små vannlopper, som *Bosmina longispina* og *Chydorus sphaericus*. Forholdet mellom de tre hovedgruppene av krepsdyr (vannlopper, calanoide hoppekreps, cyclopoide hoppekreps) varierer dermed ofte med endringer i forsurenssituasjonen.

Fordi forekomsten av mange av de forsurenssensitive artene også er bestemt av andre miljøfaktorer (klima, kalsiumkonsentrasjon og fiskepredasjon) finnes det også uforurente innsjøer med lav artsdiversitet, lav andel av forsurenssensitive arter og dominans av arter som er karakteristisk for forurente lokaliteter. Kunnskap om forventet naturtilstand er avgjørende for å kunne vurdere hvor forsurensskadede krepsdyrsamfunnet er.

Østlandet – Nord (region I)

Region I ble undersøkt i 1998 og det ble registrert 47 arter av planktoniske og litorale krepsdyr i til sammen 11 innsjøer. Basert på krepsdyrfaunaen ble regionen klassifisert som ubetydelig/moderat forsuret (klasse 1-2) til sterkt forsuret (klasse 4). I en totalvurdering er krepsdyrfaunaen i regionen angitt som markert forsuret (klasse 3). Kun en av lokalitetene i region I (Atnsjøen) blir undersøkt årlig. Atnsjøen er en lite forsuret referansesjø og variasjoner i krepsdyrfaunaen gir ingen indikasjoner på endring i forsurenssituasjonen.

Østlandet – Sør (region II)

Region II ble, i likhet med region I, undersøkt i 1998 og totalt 50 arter av krepsdyr ble registrert i til sammen 12 innsjøer. Status for enkeltlokaliteter varierte fra moderat til meget sterkt forsuret. Basert på en samlet vurdering av krepsdyrfaunaen ble regionen klassifisert som markert til sterkt forsuret (klasse 3-4). For fire av lokalitetene i region II fins det årlige krepsdyrdata fra de siste tre til fem år. Det er imidlertid ingen indikasjoner på endring i forsurenssituasjonen i denne perioden. Fra Langtjern fins det også planktondata fra 1977. Prosentvis forekomst av den forsurenssensitive arten *Daphnia longispina* i planktonet har i alle år vært lav, men noe høyere i 1977 sammenlignet med perioden 1998-2000. Til tross for

en gradvis bedring av vannkvaliteten siden midten av 1970-tallet er de vannkjemiske forholdene for dårlige og ustabile for permanent etablering av de mest forsurende krepsdyrartene.

Fjellregion - Sør-Norge (region III)

Region III ble undersøkt i 2000 og det ble her registrert 33 arter av planktoniske og litorale krepsdyr i til sammen 11 høyfjellslokaliteter. Innsjøene ble klassifisert som ubetydelig/moderat til sterkt forsuret. Samlet er region III vurdert som moderat til markert forsuret. Fra to av lokalitetene i region III fins det årlige krepsdyrdata for perioden 1997-2000. Heddersvatn er i tillegg undersøkt i 1978. År til år variasjoner i krepsdyrfaunaen er liten og indikerer ingen eller kun en svak positiv endring i forsuringssituasjonen. Fire av lokalitetene i Kvennavassdraget (Hardangervidda) ble undersøkt i 1978 og 1995 i tillegg til 2000. Andel forsuringssensitive arter var større i de to siste årene sammenlignet med 1978 og indikerer en svak positiv endring i forsuringssituasjonen i dette området siden slutten av 1970-tallet.

Sørlandet - Øst (region IV)

Region IV ble undersøkt i 1999 og totalt ble det registrert 55 arter av planktoniske og litorale krepsdyr. Krepsdyrfaunaen i til sammen 10 innsjøer viste stor variasjon og innsjøene ble klassifisert som ubetydelig/moderat til meget sterkt forsuret. Samlet er region IV vurdert som markert til sterkt forsuret basert på krepsdyrfaunaen. Fra syv av lokalitetene i region IV fins det krepsdyrdata fra flere år i perioden 1996-2000. År til år variasjoner i krepsdyrfaunaen er liten og indikerer ingen generell endring i forsuringssituasjonen. En av lokalitetene (Sognevatn) ble i tillegg undersøkt i 1989. Andelen forsuringssensitive krepsdyrarter er mer enn fordoblet i 1997-2000 sammenlignet med situasjonen på slutten av 1980-tallet. Datagrunnlaget fra 1989 er imidlertid noe mangelfull.

Sørlandet - Vest (region V)

Region V ble undersøkt i 1997. Det fins krepsdyrdata fra 10 innsjøer og disse er klassifisert som moderat til meget sterkt forsuret. Regionen er samlet vurdert som sterkt forsuret. I region V blir tre innsjøer undersøkt årlig og sammenlignet med tidligere år er det ingen endring i forsuringssituasjonen i 2000.

Vestlandet - Sør (region VI)

Region VI ble undersøkt i 2000. Det fins krepsdyrdata fra syv innsjøer og totalt ble det registrert 32 arter. Innsjøene er alle klassifisert som markert til sterkt forsuret og regionen er samlet vurdert som markert forsuret. Kun en av lokalitetene i region VI (Røyrvatn) blir undersøkt årlig. Sammenlignet med tidligere år er det ingen endring i forsuringssituasjonen i 2000. I forbindelse med bunndyrundersøkelsene ble det imidlertid registrert individer av *Daphnia* sp i utløpselva og dette tyder på at arten fins i lave tettheter i planktonet. En av lokalitetene (Litlevikvatn) ble undersøkt i 1992 og 1997 i tillegg til 2000. Materialet gir ingen indikasjon på endringer i forsuringssituasjonen i denne perioden.

Vestlandet - Nord (region VII)

Region VII ble undersøkt i 1999 og totalt ble det registrert 35 krepsdyrarter. Krepsdyrfaunaen i de 12 innsjøene viste stor variasjon og innsjøene ble klassifisert som ubetydelig/moderat til meget sterkt forsuret. Samlet er region VII vurdert som markert til sterkt forsuret. De fleste av lokalitetene i regionen var svært ionesvake med Ca-konsentrasjoner $<0,5 \text{ mg L}^{-1}$ og andel

forsuringssensitive arter forventes derfor å være naturlig lav. For tre av innsjøene i regionen fins det årlige krepsdyrdata. Forsuringssituasjonen i to av disse ble vurdert som noe bedre i 1998 sammenlignet med 1997 og 1999-2000.

Midt-Norge (region VIII)

Region VIII skal undersøkes i 2001. Årlige undersøkelser av høyfjellslokaliteten Svartdalsvatn i Lesja viser ingen forsuringsskader og kun mindre år til år variasjoner i krepsdyrfaunaen.

Nord-Norge (region IX)

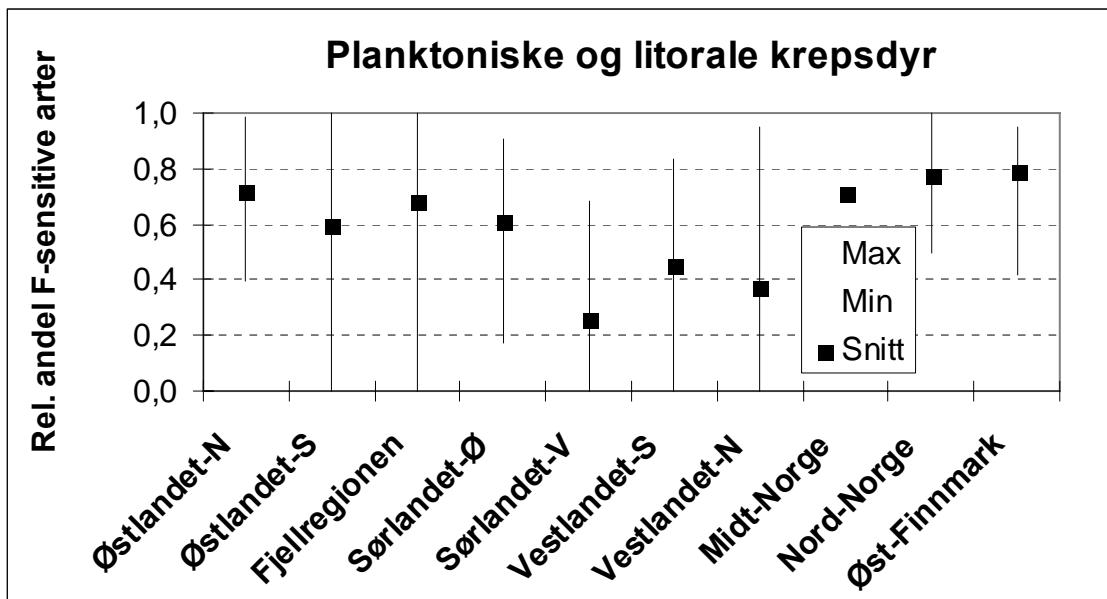
Region IX ble undersøkt i 1999. Totalt ble det registrert 35 arter av planktoniske og litorale krepsdyr. Det fins data fra seks innsjøer og situasjonen i disse varierer fra ubetydelig/moderat forsuret til sterkt forsuret, med hovedvekt på moderat forsuret. Felles for lokalitetene som ble vurdert som sterkt forsuret er at disse var svært ionesvake med Ca-konsentrasjoner $<0,5$ mg l⁻¹ og dessuten at de hadde en god aurebestand. Det er derfor sannsynlig at en artsfattig krepsdyrfauna dominert av forsuringstolerante arter skyldes lave Ca-konsentrasjoner i kombinasjon med høy predasjon, begge deler kan være en begrensende faktor for forekomsten til forsuringssensitive arter som for eksempel daphnier.

Øst-Finnmark (region X)

Region X ble undersøkt i 2000. Det fins krepsdyrdata fra kun seks innsjøer og totalt ble det registrert 31 arter. Innsjøene er klassifisert som moderat/markert til sterkt forsuret. Samlet er region X vurdert som markert forsuret. Kun Dalvatn blir undersøkt årlig. Fra denne lokalitetene fins det data fra de fleste år i perioden 1991-2000. I tillegg ble Skardvatn undersøkt i perioden 1991-1996. Litorale krepsdyr ble imidlertid først inkludert fra 1995. Krepsdyrfaunaen i Dalvatn indikerer ustabile forhold med betydelig år til år variasjoner i vannkvaliteten. I St.Skardvatn er andelen av sensitive arter samt prosentvis forekomst av forsuringssensitive daphnier i planktonet, noe redusert i 2000 sammenlignet med 1995-1996. Basert på krepsdyrfaunaen alene er datagrunnlaget for dårlig til å kunne si noe sikkert om utvikling i forsuringssituasjonen i St.Skardvatn.

Trender

Totalt 20 av lokalitetene som ble undersøkt i 2000 var innsjøer som overvåkes årlig (Gruppe 1- og Gruppe 2 sjøer). En av disse var ny i 1999, mens to lokaliteter er undersøkt siden 1998, tolv siden 1997 og fem siden 1996. For et flertall av innsjøene ble det registrert flere arter i 1998 og 1999 sammenlignet både med tidligere år og med 2000. Det er en relativt dårlig samvariasjon mellom artsantall og pH for de enkelte innsjøene. Variasjoner i artsrikdom kan skyldes variasjoner i andre miljøforhold, for eksempel år til år variasjoner i klima. En total vurdering av krepsdyrsamfunnene, basert på artsinventar og mengdefordelinger (dominansforhold), tyder ikke på noen generell endring i forsuringssituasjonen i perioden 1996-2000. For enkeltlokaliteter der det fins eldre data er det imidlertid indikasjoner på små endringer i positiv retning.



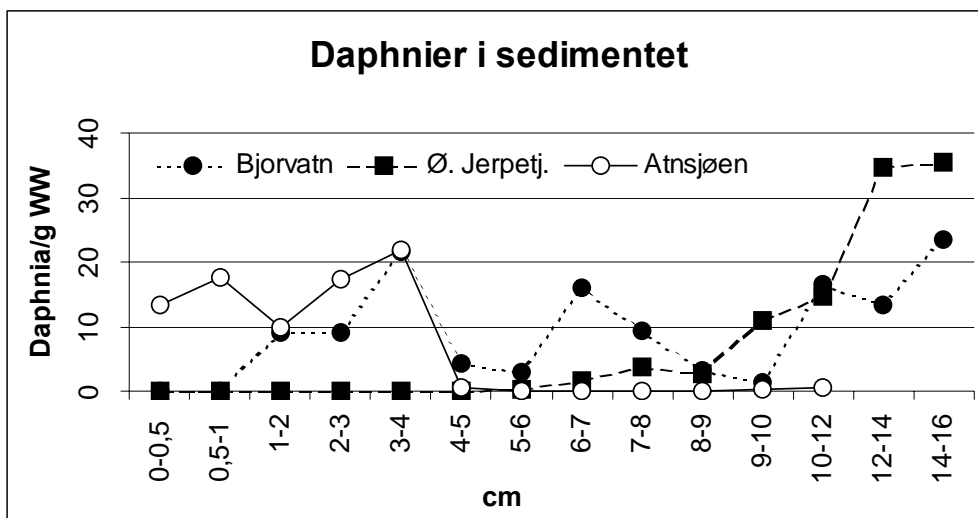
Figur 15. Relativ andel av forsuringssensitive krepsdyrarter (avvik fra forventningen) vist som gjennomsnitt, minimum og maksimum for hver av regionene I – X. Relativ andel er beregnet som forholdet mellom andel sensitive arter i den undersøkte innsjøen og forventet andel basert på sammenlignbare ikke-forsurede innsjøer (forventet andel er gitt verdi 1).

Figure 15. Relative share of acid sensitive crustacean species, shown as average, minimum and maximum for each of the regions i-X. The relative share is given as the ratio between the share of sensitive species in the investigated lake and the expected share based on comparative non acidic-lakes (expected share is given score 1).

Paleolimnologiske studier

For fire Gruppe 1-sjøer (Atnsjøen, Øvre Jerpetjern, Bjorvatn og Lille Hovvatn) er krepsdyrfaunaen rekonstruert for perioden før forsuringen startet (ca. 1900) og fram til i dag. Dette er gjort ved å studere skallrester og hvileegg av vannlopper funnet på ulike sjikt nedover i sedimentet. Det ble påvist totalt 32 arter vannlopper i de fire innsjøene. I tillegg forekommer det ubestemte arter av *Alona* og *Chydorus*. Antall arter var alltid størst i det dypeste sjiktet, det vil si før forsuringen startet. Forskjellen mellom tidligere og dagens krepsdyrfauna er størst i Øvre Jerpetjern og Lille Hovvatn som også er de sterkest forsuringsskadete innsjøene.

Den eneste av lokalitetene som i dag har en bestand av *Daphnia longispina* er Atnsjøen og her er tettheten av hvileegg relativt stor i de øverste sedimentlagene (**Figur 16**). I Bjorvatn mangler *D. longispina* i den øverste centimeteren av sedimentet, men allerede i sjiktet 1-2 cm forekommer den relativt tallrikt. Dette tilsier at Bjorvatn hadde en *Daphnia*-bestand helt fram til ca. 1990. I Øvre Jerpetjern dukker *D. longispina* først opp i sjiktet 5-6 cm og store tettheter av hvileegg ble kun registrert i de eldste sedimentlagene. Dette indikerer at *D. longispina* forsvant fra Øvre Jerpetjern vesentlig tidligere enn i Bjorvatn, kanskje allerede på 1950-60 tallet. Lille Hovvatn er sterkere forsuringsskadet enn de andre lokalitetene, og har sannsynligvis alltid vært så sur at forsuringfølsomme arter har manglet. *D. longispina* er ikke påvist i sedimentet.



Figur 16. Antall *Daphnia-ephippiae* (hvileegg) per gram våtvekt (ww) i ulike sjikt av sedimentet fra Bjorvatn, Øvre Jerpetjern og Atnsjøen. Lille Hovvatn ble også undersøkt men ingen hvileegg ble funnet i sedimentet.

Figure 16. Number of *Daphnia-ephippiae* per gram wet weight in different layers of sediments from lake Bjorvatn, Øvre Jerpetjern og Atnsjøen. In lake Lille Hovvatn, no ephippia was found in the sediment.

3.4 Effekter på fisk

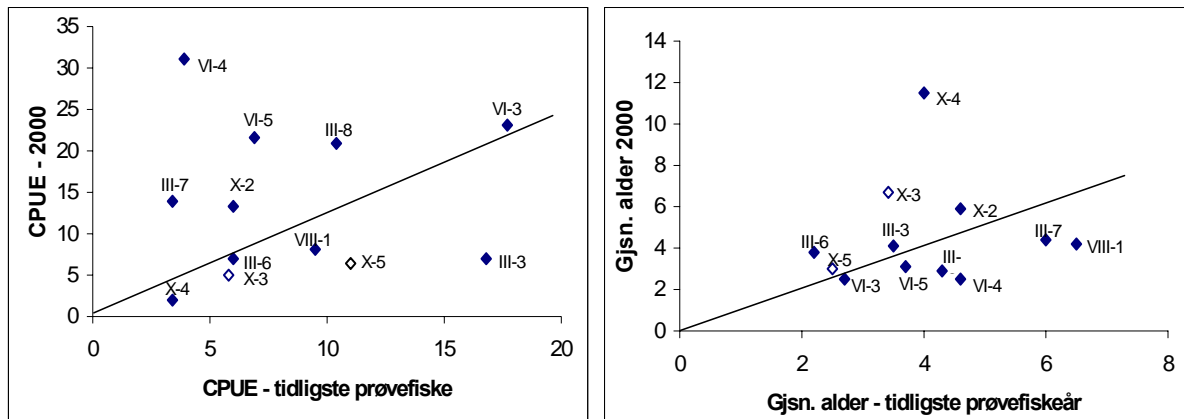
Bestandsundersøkelser av fisk i innsjøer

Hensikten med bestandsundersøkelser i innsjøer er å (i) dokumentere bestandseffekter som er forårsaket av forurensning. (ii) hvordan forurensningen påvirker ulike fiskearter og fiskesamfunn. (iii) relatere fisketetthet/fangstutbytte til ulike vannkjemiske parametre. I 2000 ble 14 lokaliteter prøvofisket, fordelt på fire regioner (**Figur 10**).

I de siste årene har disse undersøkelsene vesentlig vært foretatt i innsjøer blant ”100-sjøers lokalitetene”. I perioden 1987-92 ble 86 av disse innsjøene prøvofisket, og i 2000 ble seks innsjøer igjen undersøkt. I tillegg ble seks andre lokaliteter, som inngikk i det nye overvåkingsprogrammet fra 1996, også prøvofisket. I starten av overvåkingsprogrammet tidlig på 1980-tallet, ble SNSF-garnserier benyttet ved prøvofiske. Tidlig på 1990-tallet ble oversiktsgarn tatt i bruk, og i en del vatn ble også begge garnseriene benyttet. En SNSF-garnserie består av 8 enkeltgarn på 27,0 x 1,5 meter med 8 ulike maskevidder (10-45 mm). Disse garna ble satt enkeltvis fra land, og de dekker følgende ulike dyp. Et oversiktsgarn er 30,0 x 1,5 meter og har 12 ulike maskevidder (5-55 mm). I 2000 ble det bare fisket med oversiktsgarn, fordelt på ulike standard dybdeintervall (0-3, 3-6, 6-12 og 12-20 meter). Det er foretatt en sammenligning av fangst pr. innsats (CPUE) og gjennomsnittlig alder for fisk tatt på de to garnseriene. Av fangstene på oversiktsgarn ble det bare inkludert fisk tatt på maskeviddene 10-45 mm. For at det skulle bli mest mulig sammenlignbart med fangstene på SNSF-seriene, begrenset vi utvalget til fisk tatt på garn på 0-3 og 3-6 m dyp. Fangstene på SNSF-seriene ble deretter konvertert til oversiktsgarn.

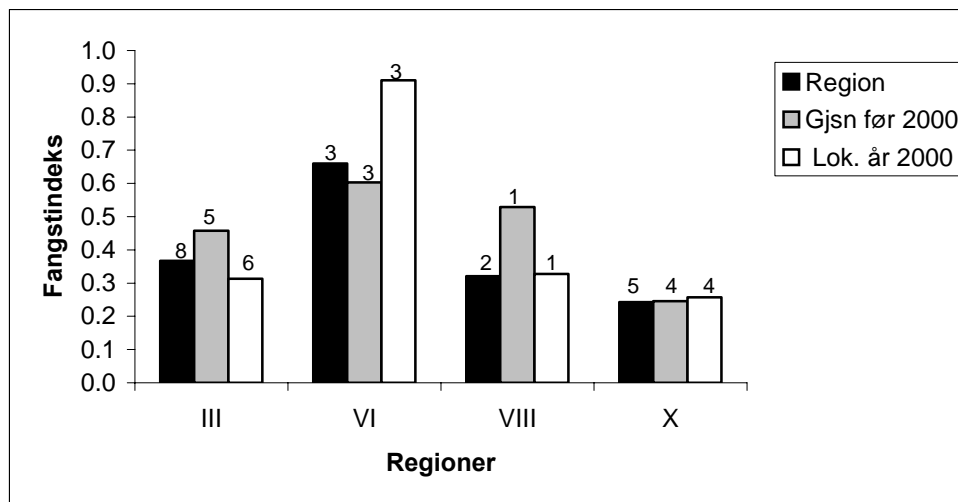
Fangstindeksen er beregnet ut fra fangstutbyttet i alle innsjøene som har vært prøvefisket i region III, VI, VIII og X gjennom hele overvåkingsprogrammet (1982-2000). Dette ble gjort ved å ta utgangspunkt i gjennomsnittlig fangstutbytte for alle innsjøer. Lokalteter med et fangstutbytte som er større enn 2 x gjennomsnittet er gitt indeks=1, og vurderes som ikke forsurengsskadet. Fangstindeks=0 betyr at bestanden er utdødd, uten at det nødvendigvis skyldes forsuring.

I 2000 ble 14 innsjøer prøvefisket, fordelt på region III (Fjellregion Sør-Norge), VI (Vestlandet-Sør), VIII (Midt-Norge) og X (Øst-Finnmark). Antall undersøkte lokaliteter i hver region var henholdsvis 6, 3, 1 og 4 (**Figur 10**). Med unntak av fire lokaliteter ble det bare fanget aure. Bortsett fra en innsjø, har alle lokalitetene vært prøvefisket tidligere. I halvparten (n=6) av de undersøkte innsjøene med aure hadde fangstutbyttet økt, mens det har avtatt i like mange lokaliteter (**Figur 17**). Det var et godt samsvar mellom fangstutbytte og gjennomsnittlig alder hos aure, som hadde avtatt i fem av seks lokaliteter med økt fangstutbytte. I fem av seks innsjøer med redusert fangstutbytte har gjennomsnittlig alder økt. Økningen i fangstutbytte var størst hos aure i region VI (LokVI-4 og VI-5). I Lok VI-4 var det en femdobling av fangstutbyttet i perioden 1996 til 2000. Ut fra fangstindeksen var dette eneste region med økning i aurebestandene (**Figur 18**). Det er i samsvar med ungfishregistreringene av aure i bekkene for denne regionen (Vikedal) (**Figur 19**). Regionene III, VIII og X hadde forholdsvis tynne aurebestander og lave fangstindekser, spesielt Øst-Finnmark (region X). I region VIII ble det kun prøvefisket en lokalitet i 2000, og andre innsjøer har heller ikke vært undersøkt siden 1992. Vi har derfor et dårlig grunnlag for å vurdere aurebestandene i denne regionen. I Fjellregion Sør-Norge (region III) ligger alle lokalitetene høyere enn 1.000 meter over havet. Auren i høyfjellssjøer har ofte dårlig naturlig rekruttering pga mangelen på gode gytebekker. Lave fangstindekser (0,30 - 0,40) i denne regionen trenger derfor ikke skyldes forsuring. I to innsjøer i denne regionen (Lok III-7 og Lok III-8) har imidlertid fangstutbyttet økt kraftig i løpet av en 5-års periode. Derimot har det vært en nedgang i to andre lokaliteter i samme region (Lok. III-3 og III-6). I region X har det vært en nedgang i fangstutbyttet av aure i to innsjøer. Begge disse lokalitetene har imidlertid tette røyebestander, noe som kan ha påvirket forekomsten av aure (Lok X-3 og Lok X-5).



Figur 17. Fangst pr. 100 m² garnareal (CPUE) og gjennomsnittlig alder hos aure i ulike lokaliteter i 2000 i forhold til forskjellig tidspunkt og tidligere undersøkelser. Hvert punkt er merket med lokalitetsnummer (se **Figur 10**). Bestander som ligger over streken har hatt en økning i både fangstutbytte og gjennomsnittlig alder, mens det motsatte er tilfelle for de under streken.

Figure 17. Catch per 100 m² net area (CPUE) and mean age of brown trout in different localities and years. Numbers attached to each point refers to the locality number (**Figure 10**). For brown trout populations above the line there has been an increase in CPUE or average age, while the the opposite is the case for those below the line.



Figur 18. Fangstindeks for aurebestandene i region III, VI, VIII og X, vist som gjennomsnitt for alle innsjøene i regionen (svarte stolper), gjennomsnittet for innsjøene som ble prøvafisket i 2000 (hvite stolper) og for de samme innsjøene som har vært prøvafisket tidligere (grå stolper). Tallet over stolpene angir antall lokaliteter som er prøvafisket i hver periode.

Figure 18. An index for fish abundance based on mean CPUE for brown trout populations in four different regions in Norway. Average for all lakes in the region (black bars), average for those investigated in year 2000 (white bars), and the same lakes investigated some years earlier (grey bars). The number given above each bar refers to the number of lakes investigated.

Ungfiskregistreringer hos aure i gytebekker

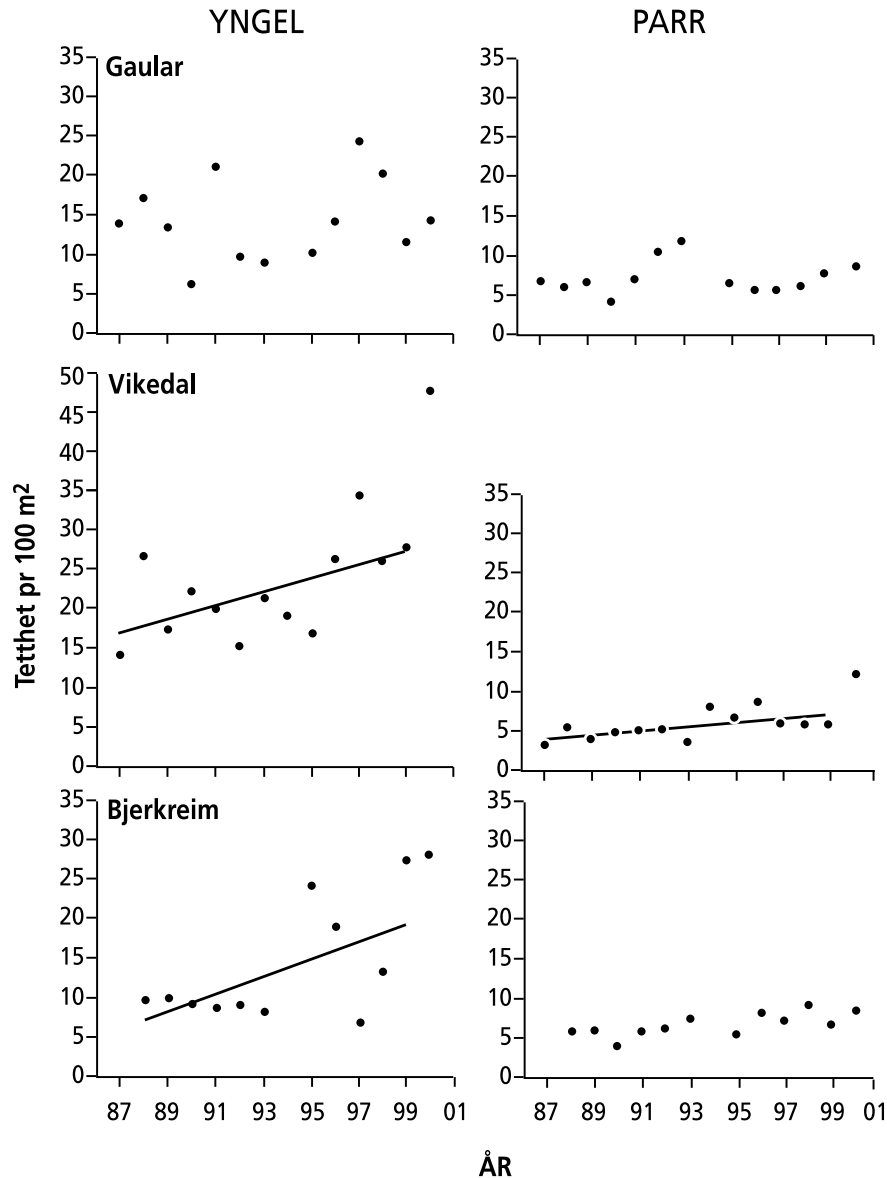
Hensikten med disse undersøkelsene er å (i) påvise eventuelle endringer i rekrutteringen hos aure i ulike regioner med forsuringsfølsom vannkvalitet, (ii) analysere hvilke vannkjemiske parametre som er av størst betydning for tettheten av aureunger. Disse ungfiskundersøkelsene skal påvise eventuell reproduksjonssvikt i et vassdrag, og vil derfor avdekke endringer i rekrutteringen på et tidlig stadium. Innsamlingen av fisk foregår med elektrisk fiskeapparat i august/september, samtidig som det blir tatt vannprøver fra hver lokalitet.

Innsjølevende aure gyter vanligvis i tilløpselver og bekker hvor yngelen oppholder seg i ei periode før den vandrer ut i innsjøen. I forsuringsområder er reproduksjonssvikt med høy dødelighet på egg- og yngelstadiet den vanligste årsaken til reduksjon og tap av aurebestander. En slik respons gjør at eldre individ etter hvert vil dominere i bestanden. Faste strekninger i gytebekker til et utvalg innsjøer i hvert vassdrag blir avfisket tre ganger. Tettheten av fisk blir deretter beregnet på bakgrunn av avtakende fangster basert på standard metoder. All fisk blir lengdemålt, og på basis av lengdefordelingen kan en relativt lett skille mellom årsyngel og eldre individ. I årene 1986-93 ble hver stasjon avfisket bare en gang. Ved tetthetsberegningene for denne perioden benyttet vi gjennomsnittlig fangstsannsynlighet i de seinere årene. Ungfiskundersøkelsene blir delt inn i tre kategorier:

- (i) Bekker til innsjøer i vassdragene Gaular (Sogn og Fjordane), Vikedal og Bjerkreim (Rogaland), hvor det foreligger valide data siden 1987 (Gaular og Vikedal) og 1988 (Bjerkreim). I 2000 ble det elfisket i 22 bekker i Gaular, 24 i Vikedal og 24 i Bjerkreim. Disse vassdragene har en forsuringsfølsom vannkvalitet, og det er påvist fiskeskader i flere innsjøer.
- (ii) Bekker eller innløp og utløp til Gruppe 1-sjøer, dvs lokaliteter hvor det ble samlet inn planktoniske krepsdyr og invertebrater hvert år: Atna (Hedmark), Saudlandsvatn ved Farsund (Vest-Agder), Røyrvatn (Rogaland), Markhusdalsvatnet (Hordaland) og Nystølsvatnet (Sogn og Fjordane).
- (iii) Bekker til innsjøer som prøvufiskes hvert år.

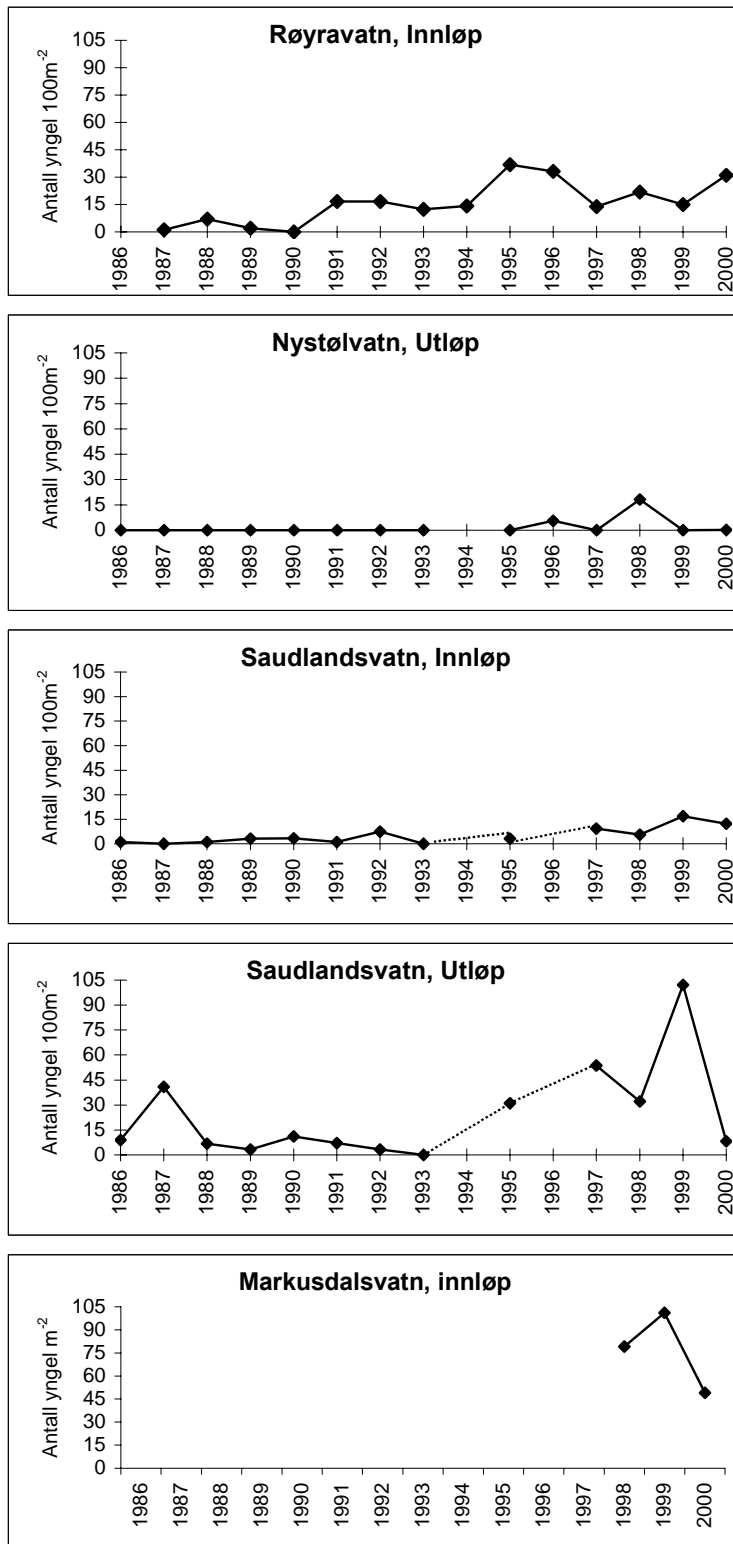
Bekker i Vikedal og Bjerkreim har hatt en økning i tettheten av aureyngel i de siste årene, men i liten grad i Gaular (**Figur 19**). Tettheten av eldre aureunger er relativt lav i alle tre vassdragene, og har vist små endringer. Vikedal hadde den mest markerte økningen i forekomsten av yngel i 2000, med en rekordhøy tetthet. I Bjerkreim fortsatte også den positive utviklingen fra 1999. I Gaular ble det derimot registrert en nedgang i tettheten av aureyngel.

Blant Gruppe 1-sjøer var det en liten økning i forekomsten av aureyngel i innløpet av Røyrvatn (**Figur 20**). Tettheten var likevel ikke på samme nivå som i 1995 og 1996. Det ble ikke påvist yngel hverken på innløpet eller utløpet av Nystølsvatn høsten 2000. På innløpet og utløpet av Saudlandsvatn har den positive utviklingen i yngeltettheten fra 1998 og 1999, stoppet opp. Spesielt var nedgangen i tettheten på utløpet av innsjøen dramatisk fra 1999 til 2000. I innløpet til Markhusdalsvatnet var det også en markert nedgang i tettheten av yngel. Innsjøen har likevel en relativt god rekruttering med rundt 50 individ pr. 100 m². I Atna er det foreløpig ingen klare indikasjoner på markerte endringer i tettheten av aure og steinsmett (1998-2000).



Figur 19. Beregnet gjennomsnittlig tetthet av yngel og eldre aureunger (parr) pr. 100 m² i bekker i vassdragene Gaular, Vikedal og Bjerkreim i perioden 1987/88-2000. Tallene er justert i forhold til årlige variasjoner i vannføringen under elfiske, som påvirker fangsteffektiviteten.

Figure 19. Estimated average number of young-of-the-year and parr of brown trout per 100 m² stream area in different streams in Bjerkreim, Vikedal and Gaular watersheds, 1987-2000. Numbers is adjusted according to waterflow during electro-fishing.



Figur 20. Antall aureyngel pr. 100 m² i innløpet av Røyrvatn (1987-2000), utløpet av Nystølsvatn (1986-2000), innløp og utløp av Saudlandsvatn (1986-2000), og innløpet av Markusdalsvatnet (1998-2000). Striplede linjer angir år hvor det ikke ble foretatt undersøkelser.

Figure 20. The density per 100 m² stream area of young-of-the-year brown trout in the inlet of Lake Røyrvatn (1987-2000), outlet of Lake Nystølsvatn (1986-00), inlet and outlet of Lake Saudlandsvatn (1986-2000), and inlet of Lake Markusdalsvatnet (1998-2000). Periods with no data are shown as dotted lines.

4. Det terrestriske miljøet

Overvåking av det terrestriske miljøet er en del av alle tre overvåkingsprogrammene. I overvåkingsprogram for skogskader (OPS) inngår overvåking av jord for å belyse endringer i skog og skogøkosystemer, i TOV for å belyse endringer i annen vegetasjon og fauna, i "Overvåking av langtransportert forurensset luft og nedbør" inngår overvåking av jord for å belyse endringene i vannkjemi.

Overvåking av jord og jordvann

I programmet "Overvåking av langtransportert forurensset luft og nedbør" er det siden prøvetaking startet i 1981 hvert år, med unntak av 1995, tatt jordprøver hvert åttende år i Vikedalsvassdraget, Gaularvassdraget, Naustavassdraget, Birkenes, Langtjern, Dalelva, Kårvatn og Storgama (se **Figur 21**). Kårvatn (i 1998), Storgama (i 1999) og Langtjern (i 2000) er nå prøvetatt for 3. gang. Jordprøver blir tatt fra fem nivåer: 0-2 cm, 2-4 cm, 4-6 cm, 8-10 cm, 12-14 cm. Det blir tatt 200 stikk per delfelt, og for hvert nivå er det fire serier.

I alle intensivflatene i OPS undersøkes jordvann i fra humussjiktet (5 cm dyp), humusblandet mineraljord (15 cm dyp) og mineraljord (40 cm dyp) ved hjelp av lysimetre. For de først etablerte flatene i OPS er tidsserien nå ca 15 år. I tillegg blir det tatt jordprøver ved etableringen av flatene, samt fem år etter.

I områdene til TOV i Lund, Solhomfjell, Møsvatn og Gutulia undersøkes jordvann i blåbærskog fra humussjiktet (5 cm dyp), humusblandet mineraljord (15 cm dyp) og mineraljord (40 cm dyp) ved hjelp av lysimetre utplassert i 1991-93. Jordprøver ble tatt ved etablering av disse overvåkingsområdene.

Overvåking av skog

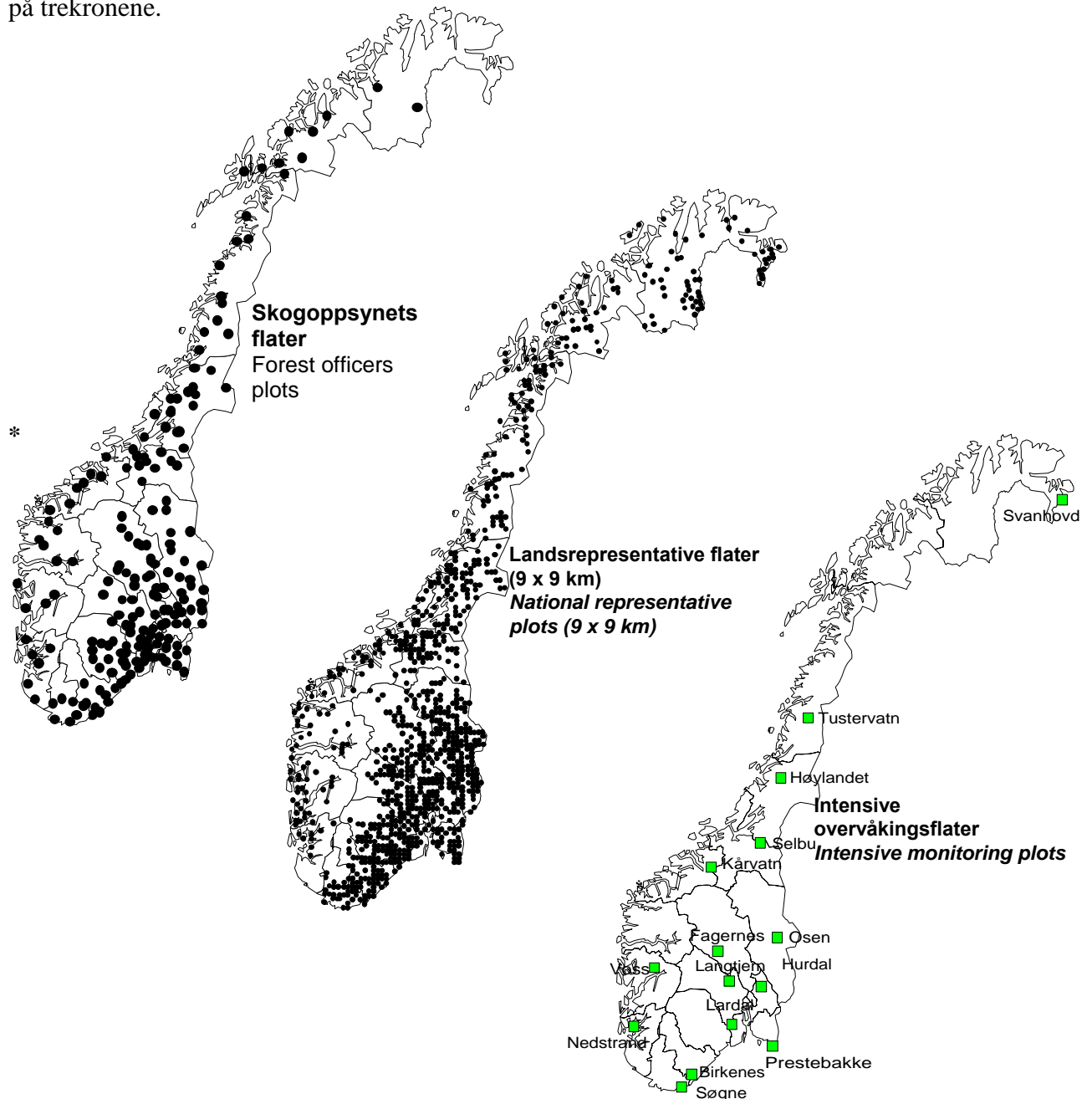
OPS har tre sett av permanente flater (**Figur 21**). Overvåkingen startet på midten av 1980-tallet.

Landsrepresentative faste flater i gran- og furuskog ligger i et objektivt utlagt 9x9 km rutenett. I bjørkeskog er rutenettet 18x18 km (ICP Forests Level I). I 2000 ble kronetilstanden til 8551 trær fordelt på 953 flater registret. Registreringene omfatter årlig vurdering av kronetetthet, kronefarge og omfang av misfarging, skader og konglemengde. Slike registreringer blir også gjort på skogoppsynets overvåkingsflater av det lokale skogoppsyn på 35000 trær i produktiv barskog fordelt på 621 subjektivt utvalgte flater.

På 15 flater i eldre barskog utføres detaljerte målinger av kjemisk innhold i nedbør, kronedrypp, jordvann og næringsinnhold i nåler og strøfall. I tillegg vurderes trærnes kronetilstand og markvegetasjonens dekning. I tilknytning til disse flatene måles det også tilførsel av luftforurensning.

De årlige registreringene fra de *Landsrepresentative flatene* og registreringene fra de *Intensive overvåkingsflater* rapporteres henholdsvis til ICP Forests og ICP IM. Metodene som brukes i skogskadeovervåkingen er utviklet og nedfelt i håndboka som brukes av alle de deltagende landene i det internasjonale skogskadesamarbeidet (ICP Forests).

Kronetetthet og kronefarge vurderes på alle trær som inngår. Kronetetthet uttrykker en estimert barmasse i % av et tenkt fulltett tre under rådende voksestedsbetingelser. Kronefarge hos bartrær angir graden (% misfarging) av gule, gulgrønne eller brune nåler i kronen og for bjørk ulike gulnyanser på bladene. Kroneregistreringen reflekterer påvirkningen av biotiske-, abiotiske- og antropogene stressfaktorer, kombinasjoner og gjensidige påvirkninger av disse på trekronene.



Figur 21. Lokalteter som inngår i overvåkingsprogram for skogskader (OPS).

Figure 21. Sites in the Norwegian monitoring programme for forest damage (OPS).

Overvåking av markvegetasjon, epifyttiske vegetasjon og fauna

Programmet for terrestrisk naturovervåking (TOV) gjennomføres i hovedsak som integrerte studier av nedbør, jord, vegetasjon og fauna i sju overvåkingsområder på fastlandet etablert i 1990-93 (henholdsvis ett i barskog i Solhomfjell og seks i bjørkeskog (se **Figur 22**). Her studeres kjemiske forhold i ulike økosystemkomponenter, foruten endringer i samfunns-, bestands- og reproduksjonsforhold hos dyr og planter. Områdene er valgt ut for å dekke hovedgradientene i belastninger av langtransporterte forurensninger i representative og viktige norske naturtyper, som samtidig er lite påvirket av andre menneskelige aktiviteter. I tillegg til studier i overvåkingsområdene foretas landsomfattende og regionale kartlegginger av jordkjemi, miljøgifter i utvalgte dyregrupper og tilstand for epifyttisk vegetasjon.

For overvåkingskomponenter i TOV som ikke rapporteres her, henvises til samlerapporten DN (1997, kap. 3.1) for en redegjørelse av angrepsmåte og metoder for datainnsamling.

Vegetasjonen utgjør basis for næringskjeder i terrestriske økosystemer og integrerer effekter av nedbørskjemi, jordbunnsforhold og lokalklima. De mange artene av karplanter, moser og lav har et bredt spekter av responser på variasjoner i naturgitte og menneskeskapte miljøforhold. I hvert TOV-område registreres *markvegetasjonen* i (minst) 50 faste analyseruter à 1 m² lagt ut i forhold til hovedgradienter i lokal miljøvariasjon (jordas surhet og innhold av næringsstoffer), der artsforekomster kvantifiseres som forekomst i 16 småruter à 625 cm². I tilknytning til hver analyserute beskrives også tresjiktet, og det tas jordprøver for analyse av jordstruktur og -kjemi. Dataene analyseres ved hjelp av multivariate numeriske metoder (DCA, CCA o.a.) der strukturen i artsforekomstene relateres til miljøvariabler. Vegetasjonsundersøkelsene foregår med en rullerende frekvens på fem år for hvert område.

Lav er mye brukt som bioindikator på luftkvalitet, der tilbakegang av lavarter ofte kan knyttes til luftas innhold av svovelforbindelser eller til gjødslingseffekten av nitrogen. Sur nedbør påvirker også lavene indirekte gjennom forsuring av substratet. Lav har artsspesifikk reaksjon på ulike forurensningstyper. Forekomst og artssammensetning kan derfor gi et mål på luft- og nedbørkvaliteten i et område. I TOVs overvåkingsområder registreres tilstanden for epifyttisk vegetasjon (lav, moser, alger), ved kvantitativ karakterisering av artssammensetning, dekning og synlig skade på lav, på stammen av utvalgte trær (furu i Solhomfjell, bjørk i øvrige områder) i prøvefelt lagt ut i høydegradienter. Det blir også tatt prøver for kjemisk analyse (pH i bark, nitrogen og svovel i vanlig kvistlav). Registreringene foregår med en rullerende frekvens på fem år i hvert område.

Spurvefugler omfatter en rekke arter med ulike krav til habitat og næring. Som gruppe vil de kunne gi variert respons på ulike endringer i miljøet, inklusive forurensninger. Slike responser vil bl.a. kunne uttrykkes ved endringer i reproduksjon eller bestandsnivåer. I TOV-områdene undersøkes bl.a. endringer i hekkebestanden av spurvefugl ved hjelp av årlige takseringer i 200 faste punkter lagt ut i forhold til hovedgradienter i miljøforholdene i hvert overvåkingsområde (i 2000 ble kun 193 punkter taksert i Dividalen og 180 punkter i Lund, resultatene er justert tilsvarende). I tillegg foretas årlige undersøkelser av klekkesuksessen hos svarthvit fluesnapper i 50 oppsatte fuglekasser i hvert område (ikke i Dividalen, Børgefjell og Møsvatn-Austfjell i 2000).

Rovfugler befinner seg på toppen av næringskjedene, de integrerer miljøgifter fra et omfattende geografisk område, og de er ansett for å være følsomme for påvirkning fra

forurensninger, f.eks. ved redusert reproduksjon. I TOV undersøkes nivået av klororganiske stoffer og tungmetaller i egg og tykkelsen av eggskall hos flere arter av rovfugl, basert på landsomfattende innsamlinger og periodevise analyser. Dette er internasjonalt mye brukte indikatorer på hunnfuglenes belastningsstatus ved starten av forplantningssesongen. Mulige effekter av akkumulerte miljøgifter studeres også ved å følge bestandsutvikling og reproduksjonssuksess hos kongeørn og jaktfalk i noen av overvåkingsområdene. Minst 10 territorier i hvert område takseres årlig ved at alle kjente hekkeplasser innenfor et nærmere definert område oppsøkes, og ev. antall produserte unger blir registrert.



Figur 22. Lokalteter på fastlandet som inngår i programmet for terrestrisk naturovervåking (TOV).

Figure 22. Sites on the Norwegian mainland where terrestrial monitoring of natural ecosystems is conducted.

4.1 Effekter på jord

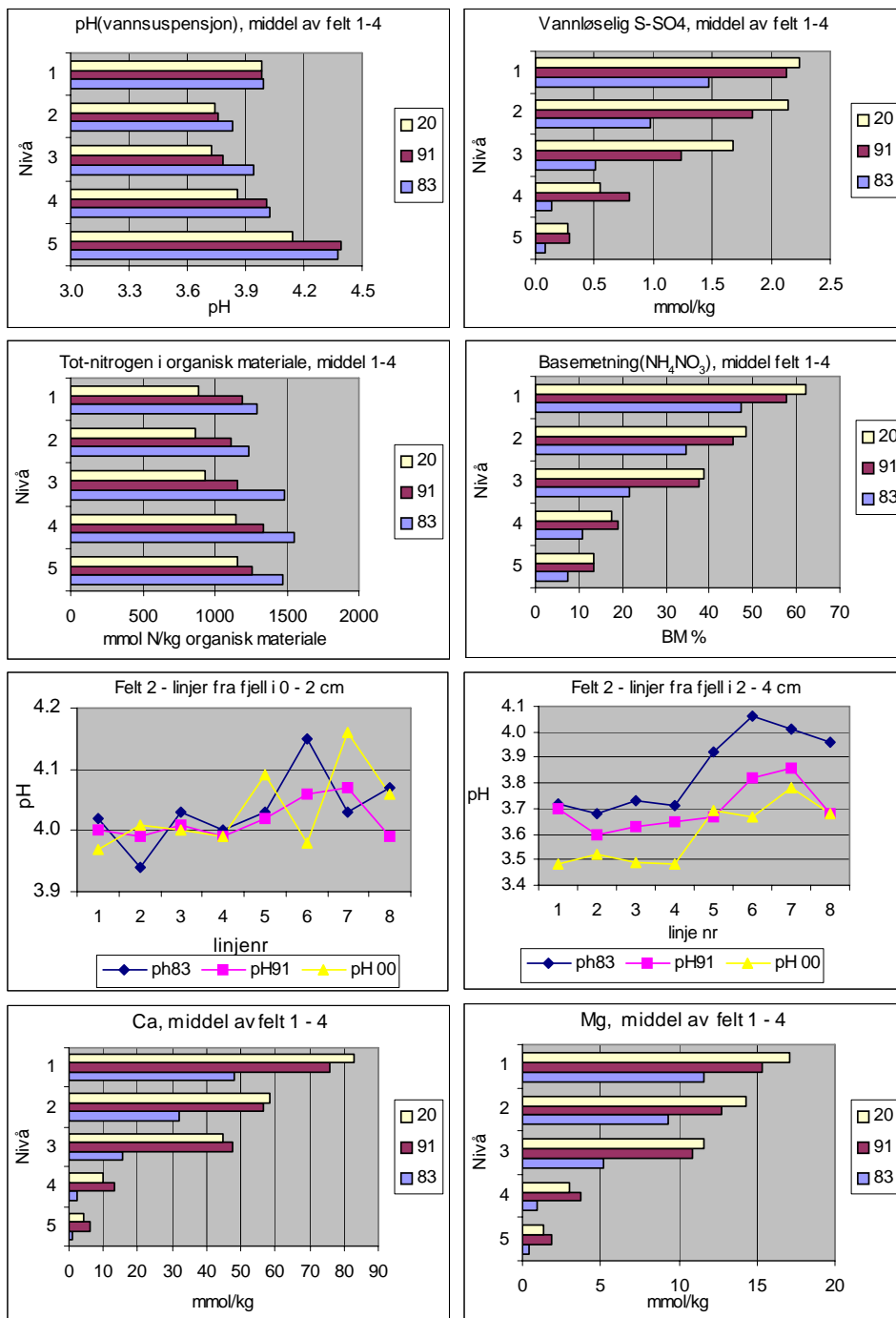
Jordundersøkelser i programmet "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør"

Jordkjemiske undersøkelser utføres i 8 felt med 8 års mellomrom. Alle felt er nå prøvetatt 2 ganger og 3 felt er prøvetatt 3 ganger over 19 år. Resultatene viser at vannløslig sulfat viser nedgang, pH og basematning viser tendens til økning og Al viser nedgang slik at det blir en netto positiv effekt på Ca/Al-forholdet i jord.

I 2000 ble 4 forsøksflater ved Langtjern undersøkt. Resultatene viser at pH i vannsuspensjon i gjennomsnitt over alle felte er uforandret i 0-2 cm, mens den har sunket noe i de dypeste nivå i 2000 i forhold til 1983 og 1991 (**Figur 23**). I delfelt 2 der prøvene er analysert i linjer som går parallelt og med økende avstand fra fjellet, ser vi at pH er lavest nær fjell. Dette kan ha sammenheng med større vannmengder (og syre) som overrisler områdene nærmest fjellet. I 0-2 cm avviker ikke målingene de tre årene fra hverandre. I 2-4 cm var pH høyest i 1983.

Basemetningsgraden (BM) (**Figur 23**) som ble målt ved jord-pH i organisk jord i nivåene 1 - 3 (0-6 cm), viser at BM har økt i 2000 i forhold til 1991 og 1983. I de to dypeste nivåene som inkluderer utvasking- og utfellingssjikt på 2 felt, er BM stabil i 2000 i forhold til 1991, men har økt i forhold til 1983. Økningen i BM er naturlig å sette i sammenheng med den tilsvarende økning av utbyttbar mengde K, Mg og Ca i nivå 1 - 3 (**Figur 23**). Den lavere BM i 2000 i forhold til 1991 i de dypeste nivåene skyldes tilsvarende lavere mengde basekationer. Konsentrasjonen av Al viser en avtagende tendens med lavere verdier i 2000 i forhold til 1991. Dette sammen med stabile eller stigende mengder av Ca, påvirker Ca/Al forholdet positivt.

Mengden av vannløselig sulfat har steget ved hver undersøkelse (1983, 1991 og 2000) for de øverste jordsjiktene (0-6 cm), og har den sunket eller vært stabilt i 1991 og 2000 for de to dypeste nivåene (8-14 cm) (**Figur 23**). Økningen i vannløselig sulfat i det øverste jordsjiktet på felte i Langtjern observeres samtidig som vi ser en nedgang av sulfatdeposisjon, nedgang i sulfat i jordvatnet (felt 4) og nedgang i sulfat på 52% fra 1980-2000 i selve Langtjern. Alt dette skulle tilsi en reduksjon av vannløselig sulfat i alle sjikt av jorda. Årsaken til økningen i vannløslig sulfat i det øverste jordsjiktet er derfor mest sannsynlig forårsaket av akkumulasjon av svovel gjennom strøfall.



Figur 23. pH i linjer på felt 2, midlere pH(H₂O), basemetningsgrad (=BM %) ved jord-pH, vannekstraherbart SO₄-S, Ca, Mg og total nitrogen i organisk materiale for felta i Langtjern i 1982, 1991 og 2000. Nivå: 1: 0-2 cm, 2: 2-4 cm, 3: 4-6 cm, 4: 8-10 cm, 5: 12-14 cm. På to felt tilvarer 4 og 5 E- og B-sjiktet.

Figure 23. pH along parallel lines from a slab at plot 2, middle pH (H₂O), base saturation (=BM %), water extractable of SO₄-S, Ca, Mg and total N (mmolkg⁻¹ organic material) for the 4 plots in Langtjern in 1983, 1991 and 2000. Depth=Nivå: 1: 0-2 cm, 2: 2-4 cm, 3: 4-6 cm, 4: 8-10 cm, 5: 12-14 cm. On two plots 4 and 5 equals E and B layer.

Jordundersøkelser i TOV programmet

Jordprøver tatt ved starten av TOV-programmet (1991-93), viste at Gutulia, Solhomfjell og Lund hadde noe forsuret jordsmonn i humussjiktet (0-5 cm) og i mineralblandet humus (5-15 cm). Møsvatn var minst forsuret i de to sjiktene, med høyere pH, lavere utbyttingsaciditet og konsentrasjon av totalt aluminium enn de øvrige. Surheten i jordvannet har hatt en ulik utvikling i TOV-områdene i disse årene. Særlig i Lund viste jordvannet en negativ trend (fra pH 4,96 til 4,32) fram til 1999, men noe bedring i 2000. Dette området mottar store mengder nitrogen- og svovelforbindelser. Selv om det har vært nedgang i tilførselen av svovel de siste årene, har pH likevel gått ned. I TOV-områdene lenger nord, Møsvatn og Gutulia, har pH steget i samme periode.

Den økende surheten i Lund har trolig ført til den sterkt minkende konsentrasjonen av kalsium i 15 cm sjiktet. I Solhomfjell har det i samme periode vært en stabil eller bedret situasjon for pH og kalsium i samme sjikt. I Lund var særlig jordvann i humussjiktet sterkt preget av nærheten til havet, med høye konsentrasjoner av natrium og klorid. For kalium og magnesium var det en god del variasjon i perioden 1991-2000. På de fleste flatene har sulfatkonsentrasjonen vært avtakende i perioden, med særlig sterk nedgang i humussjiktet.

Aluminiumskonsentrasjonen i jordvann var noe forhøyet i Solhomfjell og Lund, samtidig som det molare Ca/Al forholdet til dels var under 1, noe som ofte er tolket som mulig fare for skogskader. Det var imidlertid ingen tegn på dårligere skogvitalitet i Lund eller Solhomfjell som følge av disse forholdene.

Alle områdene har i hele overvåkingsperioden hatt lave konsentrasjoner av ammonium og nitrat i jordvannet (nær deteksjonsgrensen, $0,03 \text{ mg L}^{-1}$). Konsentrasjonen av organisk nitrogen i jordvannet har hatt en synkende tendens i måleperioden i Gutulia og nokså variabel utvikling i øvrige områder. De siste årene har det vært en nedgang i totalt nitrogen på alle målepunkter, unntatt for Møsvatn i 15 cm sjiktet. Dette samsvarer med andre feltundersøkelser fra Sør- og Sørvestlandet.

4.2 Effekter på skog

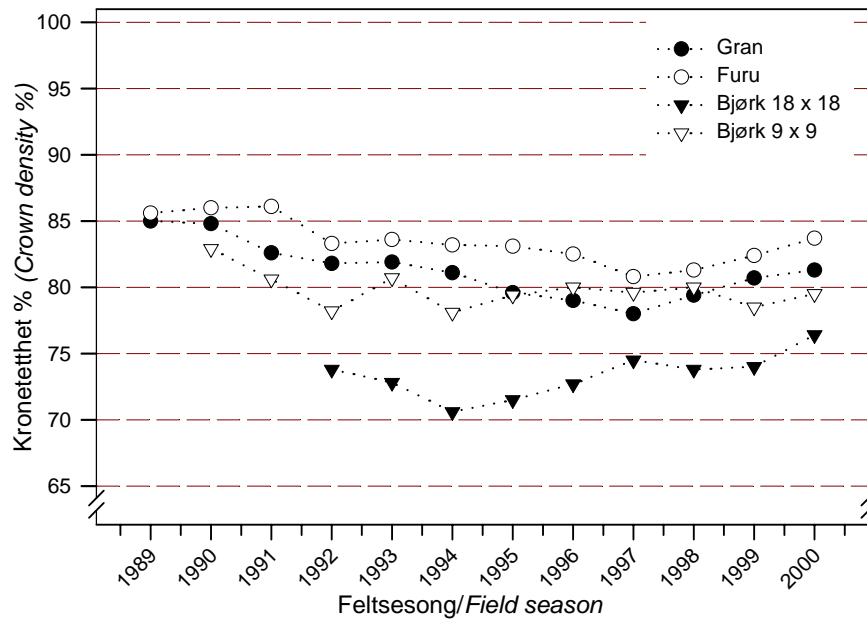
Resultatene fra skogovervåkingen i Norge i 2000 viser at skogens helsetilstand, landet sett under ett, også i 2000 bedret seg noe i forhold til foregående år.

Gjennomsnittlig kronetetthet på de landsrepresentative flatene har økt de siste tre år, og den negative utviklingen i kronetetthet fra perioden 1989-1997 synes å være brutt (**Figur 24**). Kronetetthet var i 2000 for gran 81,3%, furu 83,7% og bjørk 76,4%. Andelen trær med fulltette kroner var for gran 45,1%, og bjørk 14,7% som er likt med året før. For furu var andelen 36,1% som representerer en økning sammenlignet med året før. Over 55% av gran- og furutrærne har normal utglisningstype, mens for bjørk er det små og store luker som dominerer. På skogoppsynets flater var det tilsvarende endringer.

På de landsrepresentative flatene var det i 2000 en nedgang i andelen trær med normal grønn kronefarge for både gran og bjørk sammenlignet med året før. For furu var det derimot en økning, og prosentandelen furutrær med normal grønn kronefarge er det største siden registreringene startet i 1989. Men variasjonen er stor. For gran var den relativt stabil fram til 1995, mens de siste fire årene har den variert fra år til år (**Figur 25**). Det er spesielt eldre grantrær som er registrert med misfarging. På skogoppsynets flater var kronefargen jevnt over grønnere, særlig i gammel granskog, på tørkeutsatte lokaliteter og i høyereliggende strøk.

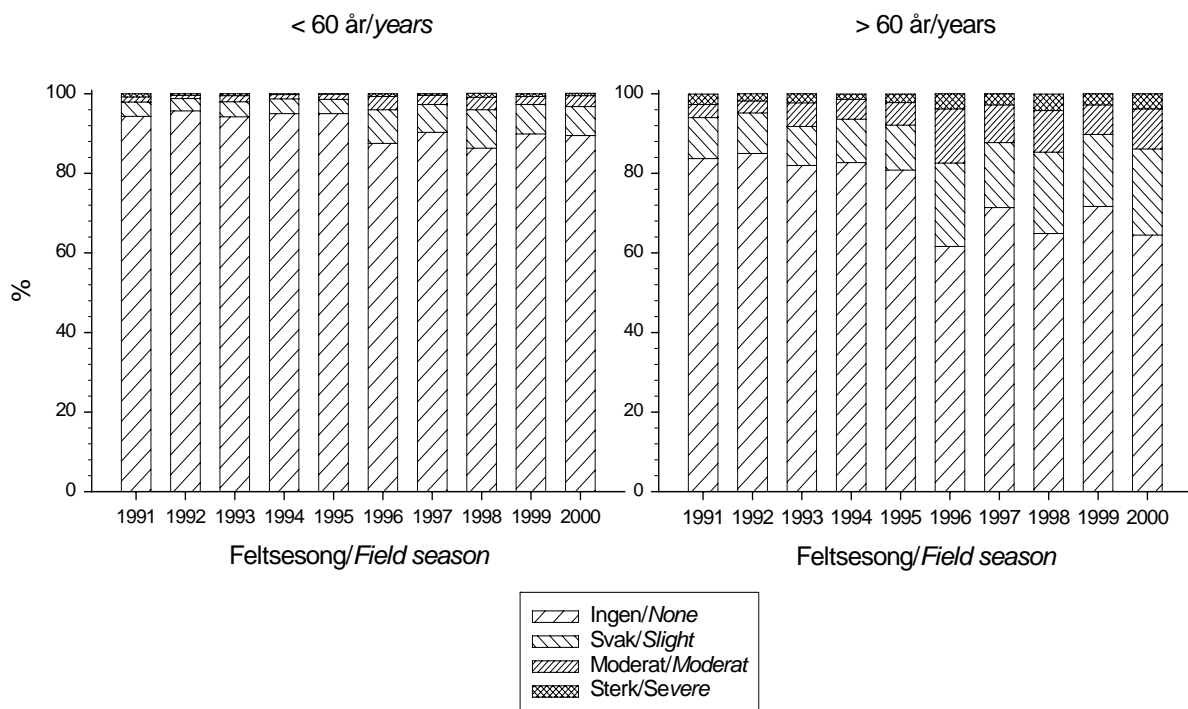
0,2% av alle registrerte trær var døde. Skadetyperen ”toppbrekk, har satt ny topp” er den vanligste skaden som ble registrert hos gran og furu. 14,2% av grantrærne og hele 40,4% av furutrærne er registrert med denne skaden. Barkbilleangrep var hyppigste dødsårsak det siste året. Hyppige skadetyper forøvrig var granrustsopp og snø- og vindskader. Insektangrep på lauv er den vanligste skadeårsaken hos bjørk (33%).

Årsaken til forbedringen i kronetetthet og forandringene i kronefarge er usikker, men de viktigste årsakene til at vitaliteten til trær endres er av aldring, forandringer i vekstbetingelser. Andre vesentlige stresspåvirkninger er sopp- og insektangrep, tørke og frost. Norsk skog vokser under barske klimatiske forhold, spesielt mot fjellet og mot nord, slik at klimastress antagelig er den mest utløsende årsak til endringer i kronetetthet og farge. Luftforurensninger generelt antas å svekke trærne slik at de lettere blir påvirket av andre skadelige forhold.



Figur 24. Variasjon i gjennomsnittlig kronetetthet (%) for gran, furu, og bjørk for de landsrepresentative overvåkingsflatene fra 1989 - 2000.

Figure 24. Variation in means crown density for Norway spruce, Scots pine and birch from the national representative plot from 1989 - 2000.



Figur 25. Prosentvisfordeling av grantrær, yngre og eldre enn 60 år, i misfargingsklasser for de landsrepresentative overvåkingsflatene.

Figure 25. Percentage of Norway spruce, younger and older than 60 years, in discoloration classes for the national representative plots.

Skogøkologiske undersøkelser utført på intensive overvåkingsflater (ICP Forests Level II).

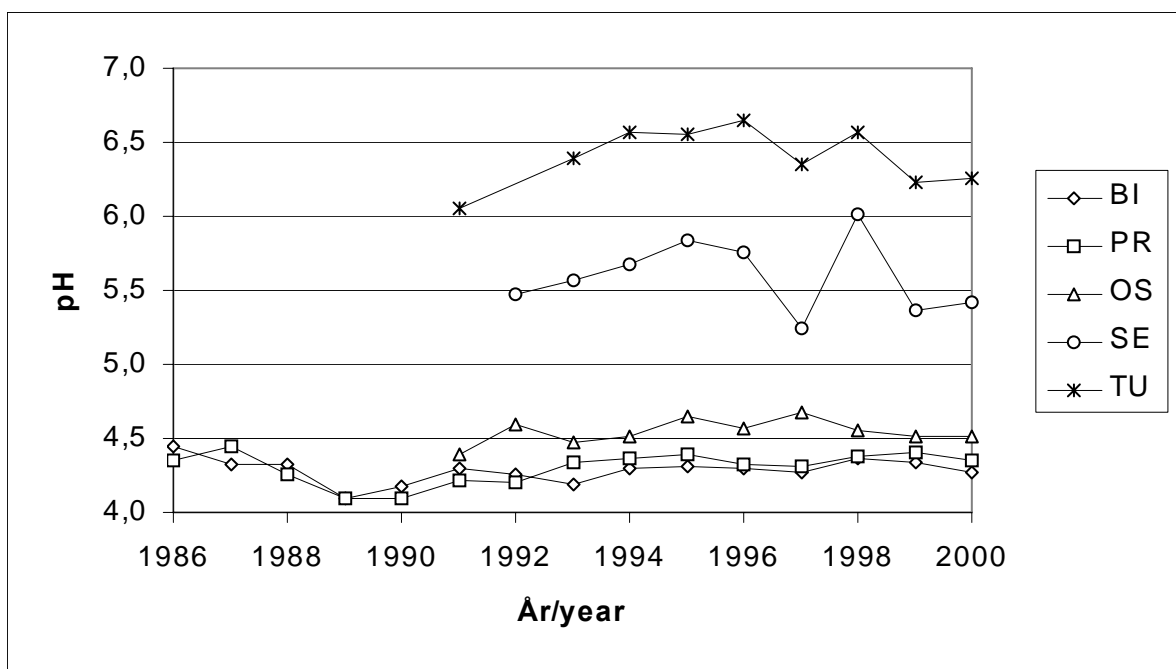
Den positive trenden som ble registrert på de landsrepresentative ble også registrert på de intensive flatene, og understøttes også av et økende antall årganger med nåler på greinene .

Strøfall på de intensive flatene varierer mye fra år til år. Gjennomsnittlig strøfall ligger omkring 250 gram per kvadratmeter pr år, og nåler utgjør noe over halvparten.

Nitrogeninnholdet i finstrøet (nåler, lav og lignende) er høyest på de sørligste flatene.

Generelt sett har vegetasjonen på de intensive overvåkingsflatene har vært nokså stabil i perioden 1988-2000. Det har vært en liten økning i frekvensen av graminider i noen sørlige flater, men det samme skjer på flater i mindre forurensete områder.

I 2000 var det mye nedbør, spesielt på Østlandet. Den økte nedbøren medførte økt nedfall av de fleste forbindelser, blant annet svovel og nitrogen på de fleste felter. Som i tidligere år var pH i nedbør, kronedrypp og i jordvann (**Figur 26**) generelt lavere på feltene i Sør-Norge sammenlignet med feltene i nord



Figur 26. Veid gjennomsnittlig pH i jordvann (15 cm dyp) fra fem intensive overvåkingsflater. BI-Birkenes, PR-Prestebakke, OS-Osen, SE-Selbu, TU-Tustervatn.

Figure 26. Weighted mean pH in soil water at 15 cm depth at five intensively monitored plots.

4.3 Effekter på markvegetasjon

Vegetasjon i barskog

I overvåkingsområdet Solhomfjell er et utvalg på 100 av opprinnelig 200 permanent oppmerkete analyseruter på 1 m² fulgt opp med undersøkelser av markvegetasjon, træs vekst og vitalitet, og humuslagets kjemiske og fysiske egenskaper i 1988, 1993 og 1998. Analyser av endringer i markvegetasjonen og sammenhenger med mulige forklaringsvariabler er gjennomført i 1999. Den undersøkte vegetasjonen dekker skogtypene tørr, lavrik furuskog (18 ruter), lyngfuruskog (21 ruter), fattig blåbærgranskog (36 ruter) og rikere lågurtgranskog (25 ruter).

Artssammensetningen i rikere granskog har gjennom tiårsperioden gradvis blitt mer lik artssammensetningen i den fattige blåbærdominerte granskogen. Tre karplantearter knyttet til rikere granskog har avtatt i mengde gjennom hele perioden, skogrørkvein (*Calamagrostis purpurea*), fugletelg (*Gymnocarpium dryopteris*) og gaukesye (*Oxalis acetosella*). Gjennomsnittlig antall karplanter pr rute har også avtatt svakt. Endringer i humuslagets kjemi, med redusert pH og økt utbyttbart aciditet, aluminium og mangan, bekrefter en langvarig jordforsuring og utvasking av næringsstoffer. Det er imidlertid ingen endringer i karplantefloraen som kan knyttes til høye tilførsler av nitrogen.

Bartrærne har hatt en betydelig tilvekst gjennom perioden, med netto økt trevolum på 2,1% for gran i granskog og 1,2% for furu i furuskog. Lukkingen av tresjiktet kan forklare hvorfor artssammensetningen i markvegetasjonen, særlig i granskog, har blitt mer typisk for voksesteder under trær og i tett skog, med reduksjon for flere lyselskende karplanter og økning for enkelte mosearter.

Mange mosearter økte kraftig i mengde i første del av perioden (1988–93), men denne økningen fortsatte ikke i 1993–98. Studier av populasjoner av etasjemosen *Hylocomium splendens* kan tyde på at dette skyldtes tørke i 1993–94, mens det har vært svak økning for etasjemose fra 1996 og kraftigere vekst i perioden 1998–2000.

Ni mose- og lavarter har avtatt i mengde i furuskog. For sju av disse, bl.a. to torvmoser (*Sphagnum*), kan reduksjonen skyldes flere somre med tørke, med særlig sterk effekt i åpen furuskog. For de to lavene lys reinlav (*Cladonia arbuscula*) og grå reinlav (*C. rangiferina*) er redusert mengde også funnet ved gjødsling med nitrogen i eksperimenter. For fire pionerarter kan økning i mengde i furuskog skyldes gjenvekst i åpninger.

Det er påvist betydelige endringer i markvegetasjonen i barskog i Solhomfjell i perioden 1988–98. Disse endringene synes å være resultatet av tre ulike sett av årsaksfaktorer:

- Økosystemets tidligere forstyrrelshistorie er årsak til suksesjon i tresjiktet som i sin tur fører til endringer i markvegetasjonen, særlig i granskog.
- Jordforsuring og næringsutvasking gjennom mange tiår forårsaker vegetasjonsendringer i rikere granskog.
- Klimavariasjoner, på kort og lang sikt, forårsaker endringer i mengdene av lav og moser, både i furu- og granskog.

Vegetasjon i bjørkeskog

Ved utgangen av 2000 var markvegetasjonen i 3 av de 6 overvåkingsområdene i bjørkeskog reanalysert for første gang etter at undersøkelsesdesignet ble justert i 1993. Det nye designet gjør at vi kan følge og beskrive endringer i et bredere spekter av vegetasjonstyper enn opprinnelig planlagt. Resultatene fra reanalysene i områdene Gutulia og Dividalen er presentert i Sammendragrapporten for 1999. Her presenteres resultatene for vegetasjonsundersøkelsene i Børgefjell som omhandler tidsperioden 1995–2000. Børgefjell ligger i et område lite påvirket av langtransportert forurensning.

I de 50 reanalyserte rutene fra Børgefjell i 2000 ble 80 arter registrert: 40 karplanter, 18 bladmoser, 13 levermoser og 25 lav. Alle arter med unntak av mosene stortaggmose (*Atrichum undulatum*) og piskskjeggmoser (*Barbilophozia attenuata*) ble gjenfunnet i 2000. Skogskjeggmoser (*Barbilophozia barbata*) og kornbrunbeger (*Cladonia pyxidata*) ble derimot funnet for første gang. Det var ikke signifikante endringene i totalt antall arter, antall karplanter eller antall kryptogamer i analyserutene i tidsperioden 1995–2000.

I de 50 analyserutene ble det funnet signifikant reduksjon i mengden av 4 karplanter, 1 moseart og 2 lavarter. 3 karplanter, 4 moser og 1 lavart hadde signifikant framgang i samme periode. Størst tilbakegang hadde sprikelundmose (*Brachythecium reflexum*), mens gullris (*Solidago virgaurea*), turt (*Cicerbita alpina*), småmarimjelle (*Melampyrum sylvaticum*), fugletelg (*Gymnocarpium dryopteris*) og snøsyl (*Cladonia ecmocyna*) også gikk markert tilbake i perioden. Mest framgang hadde mosene lyngskjeggmoser (*Barbilophozia floerkei*) og bakkefrynse (*Ptilidium ciliare*). Framgang er også registrert hos sauetelg (*Dryopteris expansa*), krekling (*Empetrum nigrum*), tyttebær (*Vaccinium vitis-idaea*), skogskjeggmoser (*Barbilophozia barbata*), furumose (*Pleurozium schreberi*) og bleikbeger (*Cladonia carneola*).

I analysene av artssammensetning (ved ordinasjon) var det en generell trend at analyserutene hadde beveget seg mot lavere verdier langs akse 1 i diagrammet. De rikeste rutene har de høyeste verdiene langs akse 1, dvs at endringen har gått i retning av fattigere vegetasjonstyper. Endringene er mest sannsynlig relatert til en fortetting av felt- og bunnsjuket, reflektert blant annet ved framgang hos arter som krekling (*Empetrum nigrum*), tyttebær (*Vaccinium vitis-idaea*) og furumose (*Pleurozium schreberi*). De mest sannsynlige årsakene til dette er påvirkning og effekter fra svingninger i bestandene av smånagere, en pågående suksisjon i vegetasjonen etter tidligere bjørkemålerangrep eller endringer i beitetrykket av rein i området.

Det ble funnet signifikante endringer i mange av de målte jordkjemiske parametrene i perioden 1995–2000. Blant annet var det en gjennomsnittlig reduksjon på 0,7 pH-enheter i løpet av 5-årsperioden. pH er positivt korrelert med ordinasjonsakse 1, og de høyeste pH-verdiene er assosiert med de rikeste vegetasjonstypene. Når pH synker, samtidig som vegetasjonsendringene i samme periode også går i retning av fattigere typer, kan det tyde på at det er en funksjonell sammenheng mellom disse endringene. Vi vil imidlertid advare mot å trekke slutninger om at dette skyldes langtransporterte luftforurensninger. Blant annet ble jordprøvene innsamlet etter en langvarig regnværsperiode i 1995, mens det var tørt vær under innsamlingen i 2000. I og med at regnvannet sannsynligvis har en høyere pH enn humusen i de fleste analyserutene, kan dette forklare en stor del av reduksjonen for pH i perioden.

4.4 Effekter på epifyttisk vegetasjon

Den kartlagte epifyttvegetasjonen i alle de sju TOV-områdene (i Solhomfjell på furu, i øvrige områder på bjørk) domineres av arter typiske for fattigbarksamfunn som har forholdsvis lavt arts mangfold. Dette har bl.a. sammenheng med barkens pH-verdi, næringsstatus og struktur. Målinger av pH i bark viser verdier rundt 3,5 i de fleste TOV-områdene, men er høyere i de områdene som har størst sjøsaltpåvirkning (pH 4,0 og over i Børgefjell og i Lund). Totalt ble 72 taksoner (arter eller slekter) registrert på stammen av de utvalgte trærne i de sju TOV-områdene ved første kartlegging. Epifyttvegetasjonen i de fleste områdene er dominert av bladlavarer som vanlig kvistlav (*Hypogymnia physodes*), bristlav (*Parmelia sulcata*), snømållav (*Melanelia olivacea*) og gul stokklav (*Parmeliopsis ambigua*). Etter 2000 er epifyttvegetasjonen i Solhomfjell og Børgefjell undersøkt 3 ganger, mens øvrige områder er undersøkt to ganger.

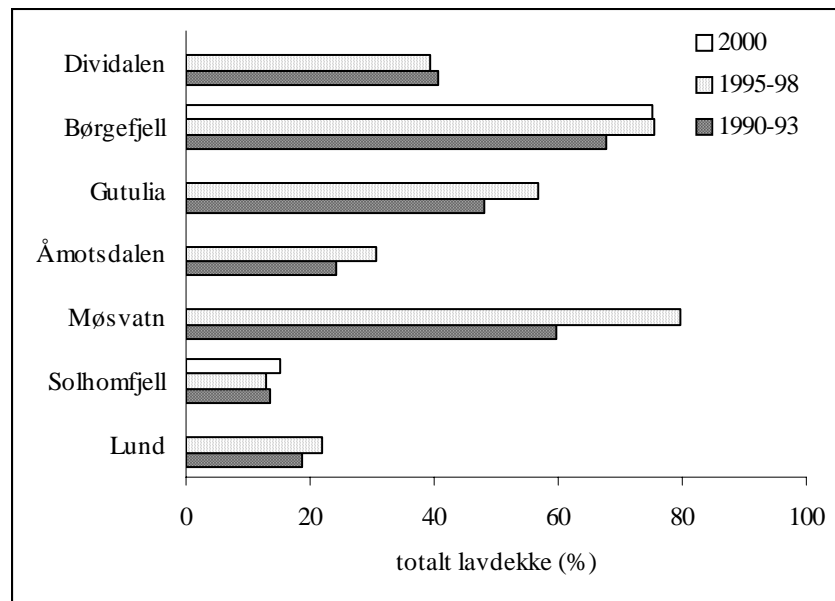
Til tross for at overvåkingsområdet Lund i Rogaland ligger nær kysten i et område som klimatisk er antatt gunstig for vekst av lav, er lavvegetasjonen på stammen av bjørk svært sparsom (**Figur 27**). Dessuten er en stor andel av laven registrert som skadd (**Figur 28**). Lund skiller seg også ut som det eneste TOV-området med registrert algepåvekst på undersøkelses-trærne; totalt 38,5 % av det kartlagte stammearealet hadde algevekst over lav og never i 1996 (34 % i 1991). Dette blir tolket som en effekt av den høye nitrogentilførselen i området. Epifyttvegetasjonen i Solhomfjell viste i 2000 en liten økning i dekning og en fortsatt reduksjon i skadeomfang (**Figur 27** og **Figur 28**).

Åmotsdalen og Dividalen representerer de mest typiske fjellbjørkeskogsamfunnene når det gjelder epifyttisk lav, med stor dominans av snømållav. Total lavdekning er relativt liten i Åmotsdalen og Dividalen, trolig først og fremst av klimatiske årsaker. Vind og snø kan hindre lavens etablering og vekst både direkte og ved å forårsake større avflaking av never.

Det er mest lav på trestammene i Møsvatn, Gutulia og Børgefjell. Det frodige inntrykket i Gutulia og Møsvatn blir også understreket av de store forekomstene av brunskjegg (*Bryoria* spp.), arter som er følsomme for forurensninger. Lang skoglig kontinuitet og beskyttet habitat, samt innslag av furuskog, kan være med på å forklare de store forekomstene av brunskjegg og det store arts mangfoldet. I Børgefjell var dekningen av epifytter høy også i 2000 (75%), og skadeomfanget var på samme nivå som ved forrige undersøkelse (6%). Skadenivået her har trolig klimatiske årsaker. Fjellbjørkeskogen i Børgefjell var sterkt preget av bjørkemålerangrep og harde klimatiske forhold, og en stor del av de opprinnelige prøvetrærne var ikke lenger intakte.

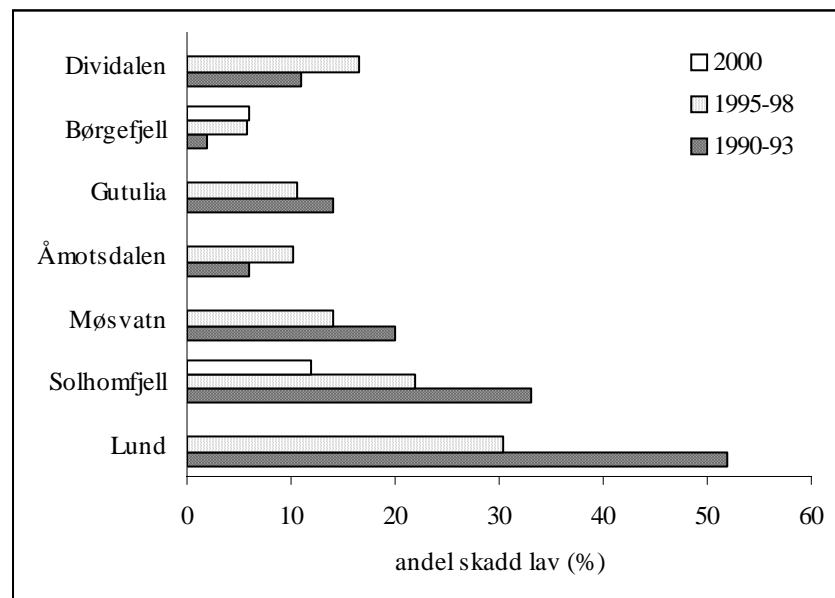
Det er registrert høyere lavdekning på trærne ved andre og tredje gangs kartlegging i TOV-områdene. Økt lavdekning kan skyldes en kombinasjon av naturlig suksesjon ved at skogen blir eldre, og at sammensetningen av nedbøren eller klimaet har blitt gunstigere for lavvekst. Mindre svovelinnhold og mer nitrogen kan virke positivt på den epifyttiske lavvegetasjonen. Det er også framgang for brunskjegg. Særlig er framgangen i området ved Møsvatn markant. I Lund er det heller ikke ved andre kartlegging registrert brunskjeggarter. Slik sett reflekterer gjentatte lavregistreringer en klar sammenheng mellom lavenes forekomst og skadestatus og registrerte forurensningsbelastninger i nedbøren, både i forhold til geografiske variasjonsmønstre og ved endringer over tid.

I regi av TOV er det også gjennomført tre landsomfattende kartlegginger av lav, i 1990 på furu, i 1992 og 1997 på bjørk (litt justering av metodene i 1997). I gjennomsnitt var 38% av stammearealet dekket av lav, 3% av alger og 1% av moser i 1997. Den totale dekning av epifytter hadde økt fra 1992 til 1997, hovedsakelig på grunn av økt dekning av skorpelav og alger. Det var også registrert økt dekning av brunskjegg (som i TOV-områdene), mens dekningen av bladlav totalt gikk noe tilbake. Epifyttvegetasjonens sammensetning viste klare geografiske mønstre. I 1997 ble det registrert epifyttisk algevekst på 10 flater (8 i sørvest Norge og 2 ved Fauske), mot 6 flater i 1992. Gjennomsnittlig algedekning gikk fram fra 1,6% i 1992 til 3,2% i 1997. Dette mønstret tyder på økt nitrogen i luft og nedbør i sør, mens registreringene ved Fauske trolig skyldes lokale kilder.



Figur 27. Dekningen av epifyttiske lav på prøvetrær i overvåkingsområdene for første periode (1990-93) og ved gjenanalyse (1995-98, 2000), angitt som total dekning av lav i prosent av kartlagt stammeareal.

Figure 27. Cover of epiphytic lichens on sample trees in the monitoring areas for the first period (1990-93) and at re-analysis (1995-98, 2000), given as total lichen cover in per cent of mapped trunk area.



Figur 28. Andel skadet lav på prøvetrær i overvåkingsområdene for første periode (1990-93) og ved gjenanalyse (1995-98, 2000), angitt som prosent av total registrert lavdekning.

Figure 28. Proportion of damaged lichens on sample trees in the monitoring areas for the first period (1990-93) and at re-analysis (1995-98, 2000), given as per cent of total censused lichen cover.

4.5 Effekter på fauna

Rovfugler

Eggskalltykkelsen hos rovfugl er en god indikator på belastningen av viktige miljøgifter. Den påvirkes i første rekke av DDE, som igjen er godt korrelert med mange andre miljøgifter. De hardest rammete artene har vært vandrefalk, dvergfalk og fiskeørn, der eggskallfortynning forårsaket av DDE-belastning bidro sterkt til bestandsnedgangen i perioden 1950-90. Det ser ut til å være rovfugl som lever av andre fugler som har størst skallfortynning, mens rovfugl som lever av planteetere har lavere nivåer. Kongeørn ser ut til å ha ganske lave belastningsnivåer, noe som trolig skyldes leveområdet (innlandet) og næringen (mye planteetere). DDE- og PCB-nivåene har falt markert hos dvergfalk (**Tabell 3**). Dette kommer også klart til uttrykk når det gjelder skalltykkelse, med ca 12% økning siden 1980-tallet, men fremdeles ca 10% reduksjon siden før 1947. Hos kongeørn er det ikke noen klar utviklingstrend for DDE eller PCB. Forskjellen mellom artene kan skyldes ulik økologi og næringsvalg. Dvergfalk lever i hovedsak av små spurvefugler og vadefugler, vesentlig trekkende arter. Kongeørn lever for det meste av rype og hare, som er stedegne arter i korte, lokale næringskjeder.

Tabell 3. Gjennomsnittlig innhold av DDE og PCB i egg av kongeørn og dvergfalk i Norge 1975-2000 (ppm ferskvekt).

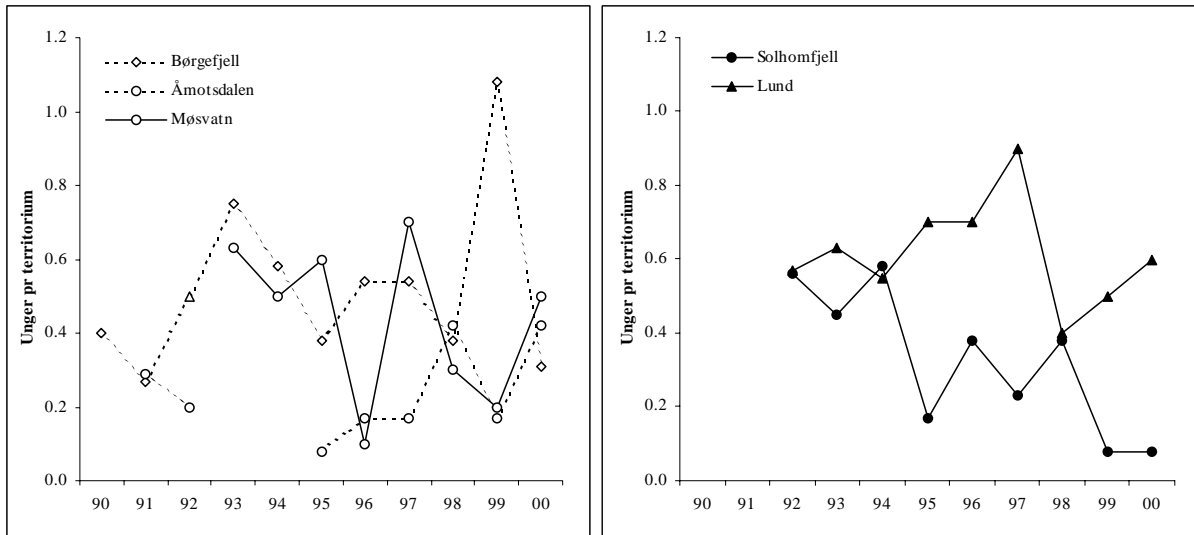
Table 3. Mean content of DDE and PCB in eggs of *Aquila chrysaetos* (kongeørn) and *Falco columbarius* (dvergfalk) in Norway 1975-2000 (ppm fresh weight).

	Kongeørn			Dvergfalk		
	DDE	PCB	N	DDE	PCB	N
1975-79	0.556	1.927	7	17.000	6.210	1
1980-84	0.180	0.659	3	16.710	6.685	2
1985-89	0.390	1.245	7	21.118	1.853	10
1990-94	0.279	0.729	20	7.839	1.218	26
1995-2000	0.177	0.970	15	3.670	1.748	14

Nye undersøkelser av en del andre organiske miljøgifter (bl.a. bromerte flammehemmere, PBB og PBDE, og insekticidet toksafen) viser betydelige nivåer i ulike arter, dels varierende med artenes levevis. Nivået av en del viktige miljøgifter i rovfugl synes å være synkende, men fremdeles er det samlede nivået av ulike stoffer foruroligende høyt. For mange av stoffene har vi imidlertid svært dårlige kunnskaper om virkningsmekanismene, slik at effekter på bestandene er vanskelig å forutsi.

Reproduksjonssuksess hos kongeørn og jaktfalk er generelt sterkt avhengig av tilgang på føde, dvs. forekomst av hønsefugler og hare for kongeørn og ryper for jaktfalk. For kongeørn vil imidlertid også tilgangen på kadaver fra vilt og husdyr kunne være en viktig føderessurs. Resultatene fra overvåkingsområdene viser betydelig variasjon fra år til år i reproduksjonssuksessen til kongeørn, noe som ofte kan relateres til variasjon i tilgangen på næring. Dette mønsteret er enda mer utpreget for jaktfalk. Overvåkingen av kongeørn og jaktfalk i perioden 1991-2000 har vist ungeproduksjon innenfor normal variasjon for alle de undersøkte bestandene. Produksjonen av kongeørnunger er ikke vesentlig annerledes for de

sørlige, forurensningsbelastete overvåkingsområdene Lund og Solhomfjell enn for de nordlige områdene Åmotsdalen og Børgefjell (**Figur 29**). Selv om ungeproduksjonen hos kongeørn i Solhomfjell har ligget lavt de siste årene, er det i lengre perspektiv ingen indikasjoner på at dagens forurensningsbelastninger påvirker ungeproduksjonen for kongeørn.



Figur 29. Ungeproduksjon pr undersøkt territorium hos kongeørn i TOV-områder 1990-2000.

Figure 29. Production of young per investigated territory of golden eagles in the monitoring areas 1990-2000.

Spurvefugler

Spurvefuglartene i overvåkingsområdene er i hovedsak knyttet til nordboreale og alpine økosystemer der artsantallet er betydelig lavere enn i mellom- og sørboreale økosystemer. De sørligste områdene, Lund og Solhomfjell, inkluderer en større andel mellom- og sørboreale økosystemer, men det er likevel stor grad av likhet i spurvefuglfaunaen for TOV-områdene. Etter 2000-sesongen finnes tidsserier for bestandsutviklingen for spurvefugl på 7-11 år i de ulike områdene, noe som gir et grunnlag for å vurdere utviklingen av spurvefuglbestander i boreal skog. Noen få av de aktuelle fugleartene, f.eks. bjørkefink og gråsisik, viser særlig stor bestandsvariasjon mellom år og områder og har en 'invasjonspreget' forekomst. Hvis vi utelater observasjoner av slike arter, viser takseringene at de sørlige områdene (Lund, Solhomfjell, Møsvatn) generelt har flere observasjoner av spurvefugl enn de nordlige (**Figur 30**). Ut fra områdenes generelle produktivitet er dette som forventet. Sammenligning av bestandsendringene til slike mer 'stasjonære' arter over tid ser ikke ut til å gi grunnlag for å si at det er vesentlige forskjeller mellom sørlige og nordlige områder. Det er altså ikke noe som tyder på at høyere forurensningsbelastning i sørlige områder har påviselige effekter på bestandsnivåer av spurvefugl i boreal skog for perioden 1990-2000.

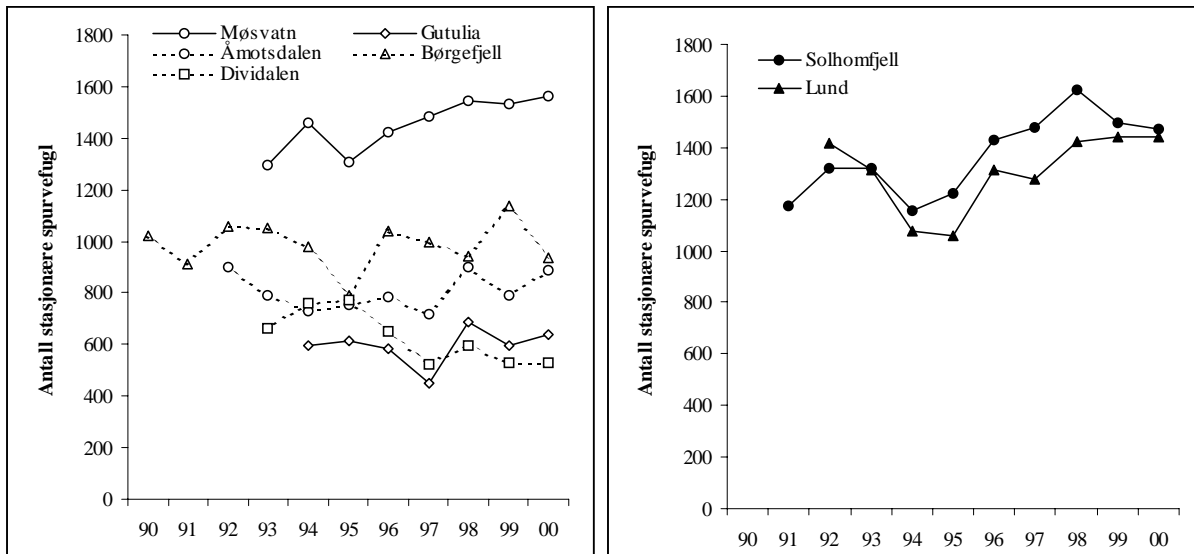


Figure 30. Bestandsendringer hos 'stasjonære' spurvefugler i TOV-områdene 1990-2000.

Figure 30. Changes in the populations of regular, territorial passerine birds in the monitoring areas 1990-2000.

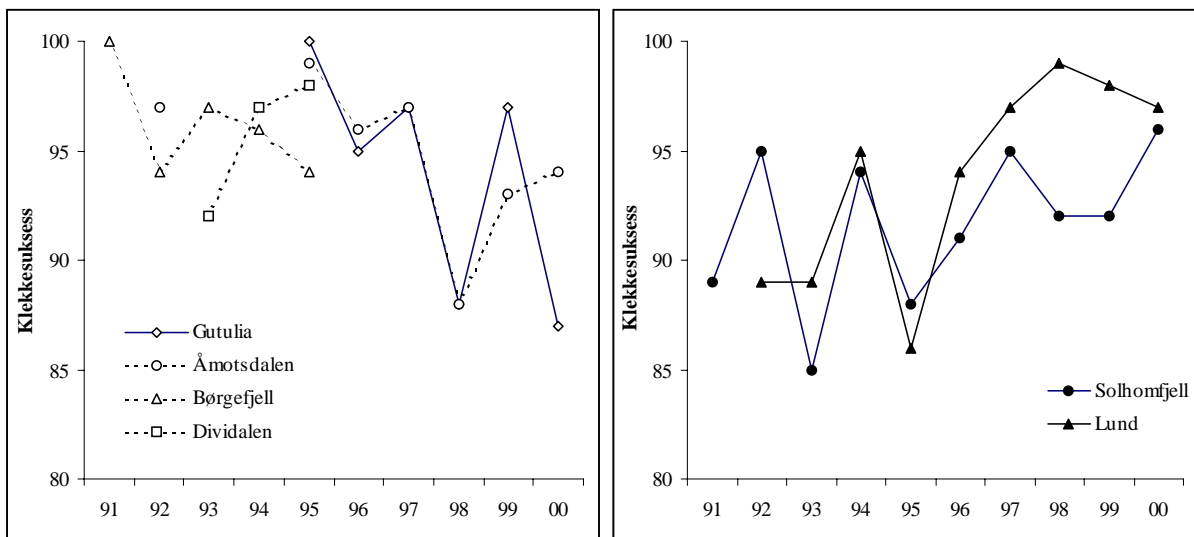


Figure 31. Klekkesuksess hos svarthvit fluesnapper i TOV-områder 1990-2000, angitt som klekte egg i prosent av lagte egg i kull som ikke er helt ødelagt.

Figure 31. Hatching success of pied flycatchers in the monitoring areas 1990-2000, given as hatched eggs in per cent of laid eggs in clutches which have not been entirely destroyed.

For reproduksjonsovervåkingen for svarthvit fluesnapper finnes det nå dataserier for flere år fra både sørlige (mye belastete) og nordlige (lite belastete) overvåkingsområder.

Klekkesuksessen, målt ved andel klekte egg i forhold til lagte egg, viser noe variasjon fra år til år i de fleste områdene (**Figure 31**). I den første delen av overvåkingsperioden (1991-96) kan det se ut til at de sørlige områdene Lund og Solhomfjell hadde lavere klekkesuksess enn de nordlige. Siden 1997 har imidlertid klekkesuksessen ligget vel så høyt i sørlige som i nordlige områder. Overlevelsen av unger fra klekte egg til flygedyktig alder har (med få unntak) vært relativt høy (minst 92%) for alle år og områder.

Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Overvåking av langtransporterte forurensninger 2000 Sammendragsrapport	Løpenr. (for bestilling)	Dato 15.06.2001
	Prosjektnr. Undernr. TA 1812/2001 SFT 829/2001	Sider Pris 72

Forfatter(e) Redaktør: Brit Lisa Skjelkvåle (NIVA) Bidragstere: Ann Kristin Schartau (NINA) Arne Fjellheim (LFI, UIB) Arne Stuanes (NLH) Bjørn Walseng (NINA) Brit Lisa Skjelkvåle (NIVA) Dan Aamlid, (Skogforsk) Erik Framstad (NINA) Gro Høyen (NIJOS)	Gunnar Abrahamsen (NLH) Gunnar G. Raddum (LFI, UiB) Gunnar Halvorsen. (NINA) Inga Elise Bruteig (NINA) Ingvald Røseberg (Skogforsk) John Atle Kålås (NINA) Kjetil Tørseth (NILU) Nicholas Clarke (Skogforsk) Odd Egil Stabbetorp (NINA) Randi Saksgård (NINA) Rune Halvorsen Økland (NIJOS/UiO) Stein Manø (NILU)	Svein Solberg (Skogforsk) Sverre Solberg (NILU) Terje Nøst (NINA) Tor Traaen (NIVA) Torgeir Nygård (NINA) Thorjörn Larssen (NIVA) Torunn Berg (NILU) Trygve Hesthagen (NINA) Vegar Bakkestuen (NINA) Wenche Aas (NILU)
---	--	---

Fagområde Overvåking	Geografisk område Norge	Distribusjon	Trykket NIVA
-------------------------	----------------------------	--------------	-----------------

Oppdragsgiver(e) Statens forurensningstilsyn Direktoratet for naturforvaltning Landbruksdepartementet	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammen drag Rapporten presenterer sammen drag av resultatene for 2000 fra tre overvåkingsprogrammer: “Overvåking av langtransportert forurensset luft og nedbør”, “Overvåkingsprogram for skogskader” (OPS) og “Program for terrestrisk naturovervåking” (TOV).
--

Fire norske emneord 1. Overvåking 2. Forsuring 3. Akvatisk miljø 4. Terrestrisk miljø	Fire engelske emneord 1. Monitoring 2. Acidification 3. Aquatic environment 4. Terrestrial environment
---	--

Brit Lisa Skjelkvåle
Prosjektleder

Nils Roar Sælthun
Forskningsjef

ISBN 82-577-4037-3